



Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN, ANÁLISIS DE DAÑOS EN VEHICULOS DE LA AVENIDA DEL PARALELO

Treball realitzat per:

Harold Del Castillo Piñeiro

Dirigit per:

Manuel Gómez Valentín

Grau en:

Enginyeria Civil

Barcelona, **19/09/2016**

Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental

TREBALL FINAL DE GRAU

RESUMEN

Los mapas de riesgo son la principal herramienta en la prevención, control y gestión de medidas ante un evento, natural o no, que pueda afectar el normal funcionamiento de elementos expuestos a dicho evento. En el caso de España el fenómeno natural con mayores consecuencias tanto a nivel económico como social son las inundaciones.

La importancia que la gestión de riesgo de inundaciones ocupa en un país desarrollado como el nuestro, más las implicaciones de este fenómeno tanto en el ámbito ingenieril como el social, cultural y educacional, me han llevado a la realización de este trabajo en un intento por aumentar mis conocimientos en este ámbito e intentar implementar algunas ideas nuevas a los estudios que ya se emplean en la estimación de daños por inundación.

En el cuerpo del proyecto he querido presentar los conceptos principales que componen los mapas de riesgo de inundación como son la *peligrosidad*, *vulnerabilidad*, y *riesgo*. Estos conceptos nos ayudaran a comprender la estructura que conforma los mapas de riesgo que dividiremos en mapas de peligrosidad y mapas de vulnerabilidad. Se expondrá el método de como a partir de estos mapas y la ayuda de curvas de daño de inundaciones, para diferentes elementos, se llega a una estimación económica para un evento determinado, es decir, al mapa de riesgo. También, veremos cómo el vehículo, un elemento altamente susceptible en eventos de inundación, no se tiene en cuenta en los mapas de riesgo actuales hasta el punto de que en España no existen, hoy en día, curvas de daño de vehículos.

Seguidamente, se ha realizado un análisis comparativo de dos grupos de curvas de daño de vehículos realizadas por dos organismos americanos distintos, las primeras realizadas por el U.S. Army Corps of Engineers y las segundas por la Federal Emergency Management Agency (FEMA). Propondremos un método para la recopilación de datos de los vehículos estacionados y circulando de la Avenida del Paralelo, para su posterior estimación de daños utilizando los dos grupos de curvas.

Finalmente, he llegado a la conclusión que las curvas propuestas por la FEMA se adaptan mucho mejor a nuestro caso. Evaluaremos que resultados y en que rangos se pueden extrapolar a otras vías de Barcelona para poder hacer una estimación de daños de vehículos en un área más extensa, con la finalidad de incluir el vehículo en la realización de mapas de riesgo de inundación.

ABSTRACT

Risk maps are the main tool in the prevention, control and management measures of phenomenons that may affect the normal operation of any elements exposed. In the case of Spain, floods are the natural phenomenon with the most serious consequences both economically and socially.

The importance of managing risk floods occupies in a developed country like ours and the implications of this phenomenon in the engineering, social, cultural and educational field, have led me to the realization of this work in an attempt to increase my knowledge in this area and to try to implement some innovative ideas to the actual estimating flood damage studies.

Firstly, I wanted to present the main concepts that make up the flood risk maps such as *hazard*, *vulnerability* and *risk*. These concepts help us understand the structure that makes up risk maps which can be divided into hazard and vulnerability maps. Furthermore, I discussed the method of how to obtain an economic estimation from these maps combined with flood damage curves of the elements exposed. Also, we see how the vehicle, a highly susceptible element to flood events, is barely considered in current risk maps to the point that nowadays there are no damage curves for vehicles.

Secondly, I did a comparative analysis of two sets of curves vehicle damage made by two different American organizations, the first conducted by the U.S. Army Corps of Engineers and the latter by the Federal Emergency Management Agency (FEMA). I proposed a method for data collection of parked and circulating vehicles in the *Avenida del Paralel* for subsequent damage estimation using the two sets of curves.

Finally, I concluded that in our case the curves proposed by FEMA are more appropriated. It will be analized which results and in which range it can be extrapolated to other avenues of Barcelona to make an estimation of damaged vehicles in a larger area, in order to include the vehicle in flood risk maps development.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE.....	III
1 . INTRODUCCIÓN	1
2 . OBJETIVOS	3
3 . MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN.....	4
3.1 Evolución del concepto	4
3.2 Tipos de mapas en la elaboración de un mapa de riesgo de inundación	6
3.2.1 Mapa final de peligrosidad.....	6
3.2.2 Mapa final de vulnerabilidad.....	13
3.3 Mapa de Riesgo Final	15
4 . CURVAS DE DAÑO	18
4.1 ¿Que son las curvas de daño?.....	18
4.2 Tipos de curvas de daño.....	19
4.3 Curvas de daño en vehículos.....	21
4.3.1 U.S. Army Corps of Engineers.....	21
4.3.2 HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology	23
5 . ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN VEHÍCULOS	26
5.1 Factores de riesgo en vehículos	26
5.2 Asunciones previas.....	28
5.3 Selección de la vía	29
5.4 Separación por tramos	31
5.5 Muestra de vehículos	32
5.5.1 Vehículos estacionados	33
5.5.2 Vehículos circulando	34
5.6 Evaluación del valor de los vehículos muestra.....	35
5.7 Estimación de daños aplicando las curvas de daño	37
5.7.1 Aplicación de las curvas de U.S. Army Corps of Engineers.....	37
5.7.2 Aplicación de las curvas de Hazus	40
5.7.3 Comparación de las curvas de daño resultantes.....	42

5.8	Resultados	43
5.8.1	Vehículos circulando	45
5.8.2	Vehículos estacionados	46
5.8.3	Análisis de resultados.....	48
6	. CONCLUSIONES	50
BIBLIOGRAFÍA.....		52

1 . INTRODUCCIÓN

Según la Directiva 2007/60/EC de la Unión Europea, una inundación es el cubrimiento temporal por agua de una tierra que normalmente no se encuentra cubierta, y por lo tanto, se incluyen las inundaciones producidas por ríos, torrentes, corrientes de agua efímeras mediterráneas e inundaciones marítimas en zonas costeras. También se define riesgo de inundación como la combinación de una probabilidad de presentación de un determinado evento, llamado amenaza o peligrosidad, y las potenciales consecuencias adversas en términos económicos que tendría este evento para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural o las actividades económicas.

Una de las principales herramientas empleadas para la estimación del riesgo de inundación y la idea principal en la cual se desarrolla mi trabajo son los “Mapas de Riesgo de Inundación”. Separaremos y expondremos el concepto de riesgo de inundación en una combinación de dos ideas, la probabilidad de ocurrencia de una inundación junto con las propiedades de ésta y las consecuencias que pueda tener asociadas dicho evento.

La primera idea se asocia a la parte física del problema, la cual se representa con una cartografía que localiza y caracteriza el fenómeno físico de la inundación (área inundada, profundidad, velocidad...). Por otra parte, la segunda idea se asocia a un aspecto humano, vendrá fuertemente condicionada por la presencia de la sociedad en el territorio a estudiar y su vulnerabilidad. Este aspecto se representa con una cartografía que localiza y caracteriza los elementos expuestos a la inundación. La combinación de estas dos nos dará como resultado final el mapa de riesgo de inundación final.

Los mapas de riesgo de inundación tienen un papel primordial a la hora de establecer planes de gestión de inundaciones, nos representan claramente las zonas con mayor riesgo y por tanto las zonas donde deberíamos implementar mejoras. Vale la pena fijarnos en las zonas urbanas ya que son una de las zonas con mayor impacto debido a la gran concentración de elementos

expuestos en forma de infraestructuras de todo tipo, personas, vehículos, mobiliario urbano, etc.

Al ver los mapas de riesgo de inundación para zonas urbanas se puede apreciar en que las estimaciones de daños cuantitativas se centran en las infraestructuras y a la respectiva vulnerabilidad económica de cada una de estas. En este trabajo se intenta implementar a estos mapas de riesgo otro componente altamente presente en zonas urbanas como pueden ser los vehículos. Un elemento con gran vulnerabilidad al agua, como podremos ver más adelante, y que por lo tanto puede incrementar notablemente el riesgo de zonas con gran densidad de vehículos.

2 . OBJETIVOS

El principal objetivo de nuestro trabajo será ver la relevancia de los vehículos como elemento a tener en cuenta en la estimación de daños por inundación en zona urbanizadas.

En el presente trabajo queremos dar a conocer los conceptos básicos en la elaboración de mapas de riesgo por inundación y la estructura de estos, creando así una base a partir de la cual podamos elaborar un método de estimación, aproximado, de los daños en vehículo ocasionados en un evento de inundación, analizaremos los daños que pudieran darse en una calle de Barcelona a diferentes alturas de lámina de agua.

También analizaremos si estos daños son realmente significativos y el procedimiento y/o resultados se pueden trasladar y utilizar en otras calles de Barcelona para poder hacer una estimación a mayor escala.

3 . MAPAS DE RIESGO DE INUNDACIÓN

3.1 Evolución del concepto

Los mapas de riesgo son una herramienta clave en el desarrollo de medidas de control y gestión de riesgo para un evento de inundación. En España las inundaciones son el fenómeno natural con mayores consecuencias tanto a nivel económico como social. Por ello, es de gran importancia la realización y el entendimiento de esta herramienta.

Al concepto de *riesgo*, ordinariamente hablando, le atribuimos dos significados. El primero está referido al suceso en sí, se puede usar en una frase del tipo «las inundaciones son un riesgo natural a tener en cuenta», mientras que el segundo significado adopta un sentido de probabilidad, y se aplica a una oración del tipo «el riesgo de una inundación es muy elevado en esta época». Sin embargo, este uso no es el más acertado, pues el concepto del que habla es el *peligro*. El *riesgo*, estrictamente hablando, es la cuantificación económica de los daños que puedan producirse a causa de un fenómeno, natural o no, y el *peligro* es lo que se refiere al fenómeno en sí y su probabilidad de ocurrencia.

Transportando estos dos significados al estudio de las inundaciones, en el primer caso el *peligro* debe ser referido al propio fenómeno físico, es decir, a una inundación como un suceso natural de unas magnitudes y características dadas que representa una amenaza; en el segundo caso debe ser entendido como la probabilidad de ocurrencia de la inundación.

Hasta hace unos años la herramienta principal en el desarrollo de control y gestión de planes de contingencia para inundaciones eran los mapas de peligrosidad, mapas que representaban las zonas que podían quedar sumergidas para varias probabilidades de ocurrencia. La producción de estos mapas de peligrosidad era realmente escasa, realizados por ingenieros y geólogos que le dieron un enfoque proveniente de sus especialidades. Esto hizo

que el estudio de las inundaciones estuviera enfocado exclusivamente al fenómeno físico, sin tener en cuenta las consecuencias del evento, un aspecto fuertemente ligado a la sociedad. Entraba en juego el factor de vulnerabilidad, un factor que estuvo en un segundo plano hasta entonces.

El estudio de vulnerabilidad es clave para estimar el riesgo y gestionar planes de contingencia. No tener en cuenta este concepto nos puede llevar a fallos en las estrategias de gestión y prevención de desastres naturales. Sin embargo, a nivel legislativo, no fue hasta la década de los noventa, en lo que se refiere a mapas de riesgo de inundaciones, que se implementó el concepto de consecuencias. En concreto, en 1995 con la publicación de la "Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones" (BOE de 14 de Febrero de 1995).

De esta forma los mapas de riesgo se redefinían a sí mismos, pues ya no solo tenían un componente físico, ahora contaban con el componente de consecuencias, se podría decir que un componente humano, ya que está fuertemente relacionado con la presencia de la sociedad y la vulnerabilidad derivada de ésta. Entraban en juego dos nuevos tipos de mapa necesarios para la elaboración de mapas de riesgo por inundación: los *mapas de exposición* y los *mapas de vulnerabilidad*.

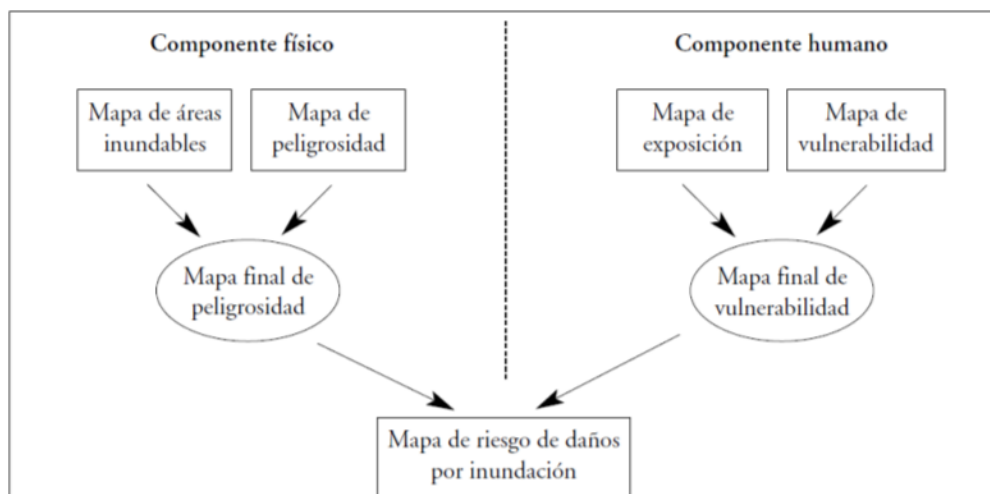


Figura 1. Esquema teórico para la elaboración de mapas de riesgo de daños por inundación. (Ribera, 2004)

Para la realización del mapa final de riesgo por inundación se requiere de los 4 mapas anteriores. Los mapas de áreas inundables y de peligrosidad localizan y caracterizan el suceso dando lugar al mapa final de peligrosidad. Los mapas de exposición y vulnerabilidad localizan y caracterizan los elementos expuestos a la inundación dando lugar al mapa final de vulnerabilidad. La combinación y superposición de estos dos mapas finales nos proporcionaran el mapa de riesgo de daños por inundación (Figura 1).

3.2 Tipos de mapas en la elaboración de un mapa de riesgo de inundación

3.2.1 Mapa final de peligrosidad

El mapa final de peligrosidad es la superposición del mapa de áreas inundables y el mapa de peligrosidad. Antes de la implementación del elemento de consecuencias a la definición de riesgo, este mapa era lo que se conocía como mapa de riesgo por inundación.

Los mapas de áreas inundables son los que nos mostrarán la exposición territorial a un suceso de inundación, en otras palabras, nos delimitaran las zonas inundables. También determinarán la ocurrencia o no de un suceso de inundación en una zona determinada, obteniendo de esta forma un mapa de áreas inundable diferente para cada probabilidad de ocurrencia, o lo que es lo mismo, para diferentes periodos de retorno.

Los mapas de peligrosidad describen las características del suceso que lo hacen más o menos destructivo. En las inundaciones algunos de estos factores de peligrosidad son el calado, la velocidad del agua, la permanencia de lámina de agua o la cantidad de sedimentos arrastrados. Sin embargo, a la hora de estimar los daños a consecuencia de una inundación el principal factor que se tiene en cuenta es el calado. Esto es debido a que se puede hacer una relación relativamente sencilla entre el calado y los daños a consecuencia de la inundación en comparación a otros factores que no tienen una relación tan directa con el daño asociado.

La realización de este tipo de mapas no es una tarea fácil pero si necesaria. Existen diversos factores que dificultan a su realización:

- escasez de datos foronómicos
- en zonas urbanas, gran cantidad de elementos a tener en cuenta sobre la zona de estudio
- cambios constantes en la geomorfología debido a la erosión, que en algunos casos pueden ser muy importantes y hacer variar los resultados de lo previsto con anterioridad

Para poder hacer una estimación lo más acertada posible de la extensión y características de nuestra área inundada lo más conveniente es combinar y complementar más de una metodología. Tres de las metodologías más usadas y complementarias son la histórica, la geomorfológica y la hidrológica-hidráulica.

Método histórico:

El método histórico básicamente consiste en cartografiar las superficies inundables en eventos de inundación pasados. Para ello se requiere de la disposición de fuentes documentales que hayan dejado constancia de la extensión y propiedades de inundaciones pasadas.

La fuente documental con mayor disponibilidad es la documentación histórica como manuscritos, impresos de archivo, bibliotecas y hemerotecas. Además, se puede complementar esta información mediante testimonios orales, a través de encuestas y entrevistas, o testimonios audiovisuales. También se puede obtener información del alcance de inundaciones anteriores mediante las marcas sobre elementos artificiales como edificaciones, vías de comunicación, obras públicas, etc (Figura 2).



Figura 2. A la izquierda: marcas de humedad en las escuelas de Sábada tras la avenida de octubre de 2012. A la derecha: marcas de humedad en las fachadas de una calle de Breslavia tras la gran inundación de 1997.

Basados en la ocurrencia de eventos de inundación históricos se puede crear un mapa cualitativo de los niveles de ocurrencia de inundación (Figura 3). El problema de este tipo de mapas es que no se puede asignar una probabilidad de ocurrencia al fenómeno, que tan valioso y útiles hacen a los mapas de peligrosidad.

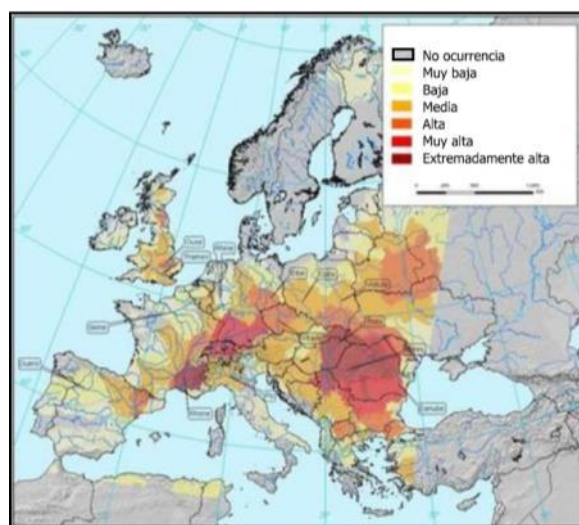


Figura 3. Mapa de los niveles de ocurrencia de inundación en Europa basado en los eventos históricos de inundación en el período 1998-2005 (EEA, 2006).

Método geomorfológico:

El principal agente de modelado de las zonas terrestres es el agua, culpable de los principales rasgos morfológicos del terreno. Uno de los factores a tener en cuenta en el modelado fluvial son las consecuencias derivadas de los continuos

cambios en los caudales que circulan por los cauces. Por este motivo un estudio geomorfológico, el cual se basa en el estudio de las formas que deja el agua en el terreno debido a la erosión, nos da información realmente útil a la hora de localizar el alcance de una inundación.

En cursos bajos del río, para caudales ordinarios, los caudales solo ocupan una parte del cauce y la velocidad del flujo es relativamente baja. Debido a esto, los principales mecanismos de modelado son de transporte y sedimentación de partículas pequeñas que son arrastradas por el agua. Estos procesos tendrán lugar exclusivamente en el lecho fluvial. Para situaciones de crecidas donde los caudales son significativamente más altos, lo que origina que los procesos de modelado varíen, la sedimentación disminuye, el transporte aumenta y aparecen nuevas zonas de erosión, los cuales pueden modificar el trazado del río por migración. Estas modificaciones en el trazado pueden tener desde un proceso lento, prácticamente imperceptible a escala humana, hasta cambios increíblemente rápidos, cambios que pueden tener consecuencias catastróficas.

Lógicamente, los cambios producidos en el modelado y la extensión del área afectada son función del caudal circulante que a su vez está condicionado a la velocidad y el calado con que circula el agua. Teniendo en cuenta esto, se podría deducir que serían las grandes crecidas, las de periodo de retorno muy alto, las principales causantes del cambio morfológico de las zonas afectadas. Sin embargo, al observar las zonas donde se producen las crecidas se ve que las áreas sujetas a crecidas frecuentes, de menor periodo de retorno y por lo tanto menor caudal, es donde se registran los mayores cambios morfológicos. Esto es debido a la reiteración de los eventos de crecida y del mayor calado y velocidad del agua que circula en esas zonas.

Entonces, en las zonas más próximas a los cauces se registran numerosos periodos de erosión y de sedimentación debidos al aumento y disminución de los caudales del agua circulante. Estos periodos debido a su reiteración suelen dejar huella en los márgenes fluviales, los ribazos, canales secundarios y surcos erosivos evidenciando zonas de erosión y las barras o dunas de grava y/o arena o playazos evidenciando zonas de sedimentación (Figura 4). Por el contrario las zonas más alejadas del cauce, aun cuando la crecida sea muy importante y el área inundada muy extensa, el reducido calado y la escasa velocidad del agua

circulando en esas zonas hace que no se aprecien los fenómenos erosivos, teniendo de esta forma una escasa repercusión geomorfológica apreciable.



Figura 4. A la izquierda: cauce ordinario o de aguas bajas de un tramo del río Ebro. A la derecha: Cauce de crecidas ordinarias (bajo periodo de retorno) del mismo tramo del río Ebro. (Sistema nacional de cartografía de zonas inundables en la demarcación hidrográfica del Ebro. 2013)

En resumen, las modificaciones geomorfológicas asociadas a la actividad fluvial se concentran en zonas próximas al cauce, en zonas afectadas con mayor frecuencia y por tanto ocasionadas por crecidas con menor periodo de retorno. Sin embargo, en las zonas más alejadas del cauce, sobre todo a cotas bastante superiores al lecho, las modificaciones geomorfológicas son prácticamente despreciables. Por lo tanto, el método geomorfológico en el entorno fluvial nos permite definir con una alta precisión las zonas con mayor frecuencia de inundaciones pero al igual que con el método histórico tampoco obtenemos las probabilidades de ocurrencia asociadas al fenómeno.

Método hidrológico-hidráulico:

Cada parte de este método abordará cada uno de los pilares fundamentales en la elaboración de un mapa final de peligrosidad. El primero será la determinación de hidrogramas para diferentes eventos con sus respectivas probabilidades de ocurrencia, es decir, para distintos periodos de retorno y el segundo es la simulación de la dinámica de flujos desbordados que correspondan a dichos eventos.

En primer lugar se debe determinar los hidrogramas para diferentes eventos, causantes de inundaciones, asociados a diferentes periodos de retorno. Los métodos más utilizados hoy en día son los estadísticos e hidrológicos.

Los métodos estadísticos relacionan los hidrogramas con sus periodos de retorno, para ello se utilizan las denominadas leyes de frecuencia o leyes estadísticas. Tradicionalmente en España se ha utilizado la ley de Gumbel pero no obstante, hay diversas distribuciones estadísticas que se emplean como por ejemplo la de Gauss, la de valores extremos generalizados (GEV), la de Pearson tipo 3, la SQRT-ET, etc. Sin embargo, no siempre dispondremos de series foronómicas, proporcionadas por estaciones limnigráficas, lo suficientemente largas y/o fiables que nos permita operar con ellas de una forma precisa y fiable.

Para solventar este problema, disponemos de métodos hidrológicos, estos nos permitirán estimar el proceso de transformación lluvia-escorrentía a partir de series meteorológicas de precipitaciones, normalmente más largas que las de caudales, y de algunos parámetros físicos de las cuencas a estudiar. Para asociar la magnitud de la precipitación con la probabilidad de ocurrencia del suceso existen diferentes modelos estadísticos de leyes de distribución. En el caso de España, para series de precipitación, es obligatorio el uso de la SQRT-ET.

Una vez más recurriremos a la utilización de modelos estadísticos para poder asociar la magnitud de la precipitación con la probabilidad de ocurrencia del evento. La segunda parte de este método consiste en la estimación del umbral de escorrentía. Existen varios métodos para la estimación de este valor aunque en general existen unos factores básicos que se tienen en cuenta: uso del suelo, pendiente del terreno, propiedades hidrológicas del suelo y condiciones de humedad del suelo antes de un episodio de lluvia.

Por último, se convierte la información obtenida de las series meteorológicas y los umbrales de escorrentía en los correspondientes caudales, obteniendo de esa forma el hidrograma de caudales. Los métodos más utilizados son el Hidrograma Unitario, modelos de depósitos o aproximaciones de onda cinemática. También, existen otros métodos como el de Creager, *Soil*

Conservation Service (SCS) y sistema DIPEO que nos proporcionaran solo los caudales punta.

Finalmente, una vez estimados los caudales máximos, que caracterizarán nuestros eventos de inundación, para diferentes periodos de retorno, necesitaremos saber la altura del agua correspondiente a dichos caudales. Se requerirá de una simulación dinámica de la corriente de agua, lo que se suele hacer mediante la utilización de modelos hidráulicos de flujo unidimensional, bidimensional o cuasi-bidimensional en régimen no permanente. Estos modelos reproducirán el comportamiento del flujo del agua y determinarán las alturas que el agua alcanzará según las condiciones que determinemos.

Estos resultados en la modelización se tienen que trasladar a mapas topográficos de detalle que son los que nos permitirán, finalmente, delimitar las zonas inundables para diferentes periodos de retorno (Figura 5).

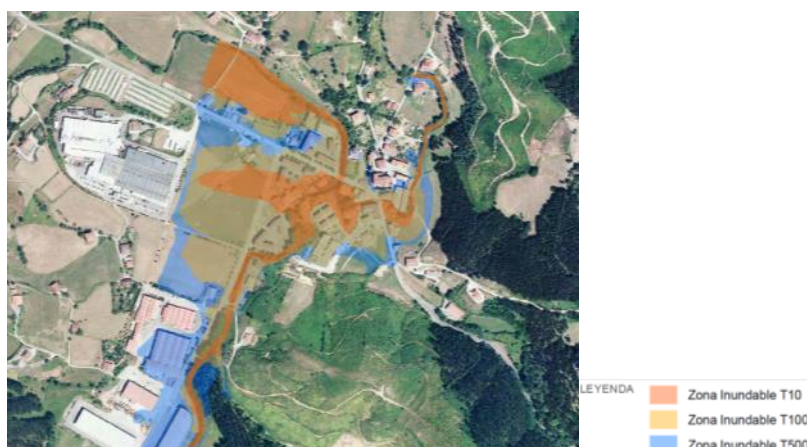


Figura 5. Mapas de inundación para diferentes períodos de retorno en Etxebarria, País Vasco (CAPV, 2013).

Sin embargo, no en todos los tramos modelados el resultado se ajustará a la realidad tanto como esperamos. Por ello, se hace uso de la información histórica y geomorfológica que dispongamos para comparar y ajustar nuestros resultados. Esta combinación de diversas metodologías, en la realización del mapa final de peligrosidad, es la que nos conducirá a una estimación más acertada que si solo usáramos una de ellas.

3.2.2 Mapa final de vulnerabilidad

El mapa final de vulnerabilidad es el resultado de la superposición del mapa de exposición y el mapa de vulnerabilidad. El primero determina y posiciona todos los elementos expuestos a un evento de inundación, el segundo describe aquellas propiedades de los elementos en riesgo que aumentan o disminuyen el impacto de una inundación sobre ellos.

Este mapa será realmente útil para saber la situación de esos elementos, que debido a sus características de movilidad, pueden modificar el nivel de afectación de un suceso de inundación determinado. Algunos indicadores de exposición que se suelen utilizar son la población, estructuras e infraestructuras (Figura 6 y 7). En zonas urbanas, un elemento que también se ve altamente afectado son los vehículos. Debido a la gran movilidad de las persona y de los vehículos, los mapas de exposición que representen estos elementos tienen que ser lo más detallados posible.

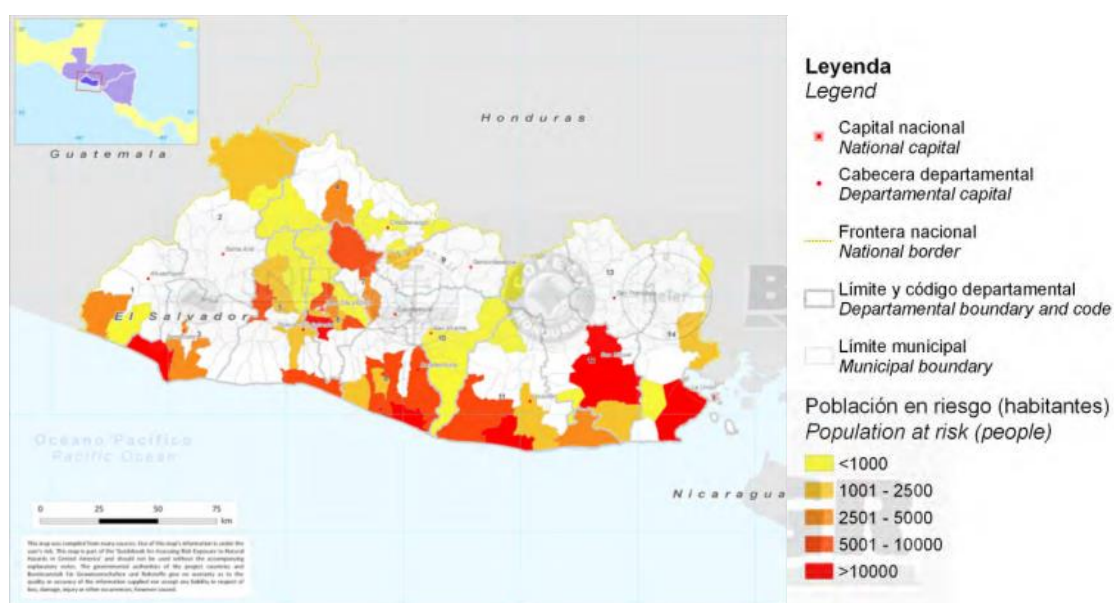


Figura 6. Población de El Salvador expuesta a amenazas de inundaciones (Mitigation of Georisks in Central America, 2010).

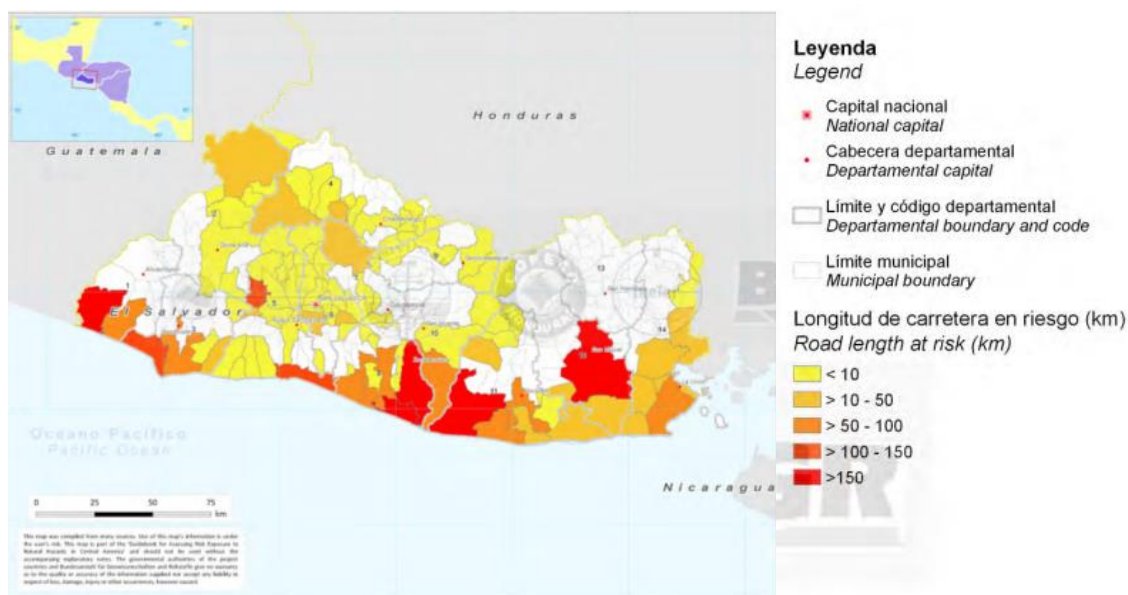


Figura 7. Carreteras (Km) de El Salvador expuestas a amenazas de inundaciones (Mitigation of Georisks in Central America, 2010).

Los mapas de vulnerabilidad, como ya hemos explicado con anterioridad, describen ciertas características de los elementos expuestos que aumentan o disminuyen el impacto de una posible inundación. De esta forma se intenta estimar, ya sea cualitativa o cuantitativamente, las consecuencias que pueda acarrear un evento de inundación determinado.

Estas consecuencias pueden ser de diversa tipología, dependiendo de si el agua ha sido causante del daño o no serán directos o indirectos; si se puede contabilizar en unidades económicas o no serán tangibles o intangibles. A la hora de hacer un análisis global de vulnerabilidad de un sitio determinado se puede clasificar en los siguiente tipos de vulnerabilidad:

- Vulnerabilidad física: se evalúa el comportamiento físico-material y la capacidad resistente de los elementos de la estructura urbana en relación a la ocurrencia de un evento de inundación.
- Vulnerabilidad funcional: influencia en la estabilidad o paralización de la producción y los servicios de estructuras, servicios y zonas afectadas durante y después de un evento de inundación.

- Vulnerabilidad social: se evalúa la capacidad de la población expuesta de enfrentar la ocurrencia de un evento de inundación. Algunas características que influyen en el grado de afectación son la calidad de vida, grado de preparación, cantidad de personas de alto riesgo (ancianos y niños), etc.
- Vulnerabilidad ecológica: se consideran las zonas ecológicamente sensibles y áreas protegidas.

Algunos de estos factores son difíciles o casi imposibles de cuantificar en unidades económicas como es el caso de la vulnerabilidad ecológica y social donde se tiene que hacer uso de diferentes indicadores para poder hacer un análisis de vulnerabilidad de carácter cualitativo.

Los análisis de vulnerabilidad cuantitativos representan las consecuencias de una inundación en posibles pérdidas económicas, es decir, analizan las consecuencias de tipología tangible. Es el caso del análisis de estructuras o infraestructuras donde se analizan las características de cada una para conocer el potencial impacto en unidades económicas.

3.3 Mapa de Riesgo Final

La superposición del mapa final de peligrosidad y el mapa final de vulnerabilidad nos proporcionaran el mapa de riesgo de daños por inundación. Estos mapas pueden ser de carácter cualitativo o cuantitativo.

En el caso de los mapas cualitativos al menos una de las partes ha sido calculada de forma cualitativa, los mapas más comunes son los mapas de riesgo formados por una estimación cuantitativa de la probabilidad de ocurrencia con una estimación cualitativa de las consecuencias (Figura 8).

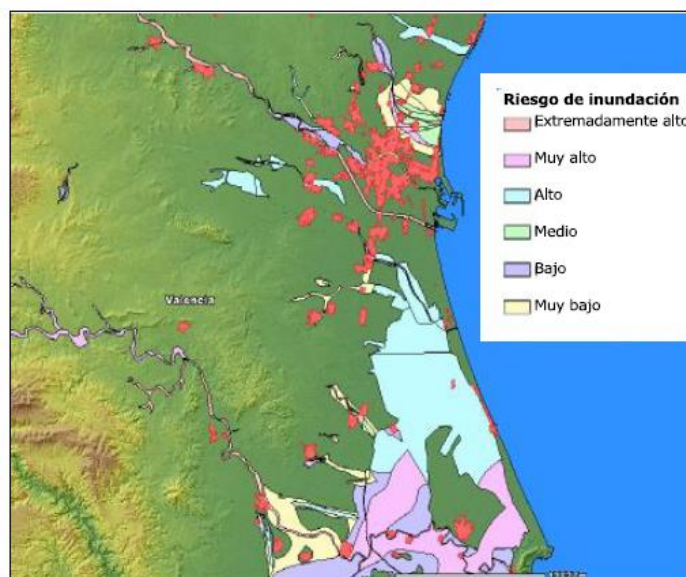


Figura 8. Mapa de riesgo de inundación cualitativo en Valencia (COPUT, 2002).

Este tipo de herramientas puede ser muy útil para la estimación de consecuencias difícilmente cuantificables, como las consecuencias medioambientales y culturales o trauma social. El grado de detalle de estas herramientas es menor que el de las herramientas cuantitativas. Sin embargo, son muy útiles para el planeamiento y gestión ya que identifica áreas de alto riesgo donde se debería actuar.

Los mapas de riesgo de carácter cuantitativo tendrán representadas las dos partes, tanto la componente de peligrosidad de inundación como la de consecuencias, de una forma cuantitativa. Nos darán como resultado diferentes mapas de riesgo para inundaciones de diferente periodo de retorno donde se verá representado el riesgo en unidades económicas en las zonas afectadas.

En la figura 9 se encuentra representado mapas de riesgo para diferentes periodos de retorno de un barrio de Barcelona. La zona a estudiar se ha delimitado por los diferentes tipos de edificio que hay (residenciales, interés turístico, comerciales, hoteles, etc.) y las áreas que ocupan, con la ayuda de unas curvas calado-daño, para cada tipología de edificio, se ha podido elaborar el mapa de riesgo final.

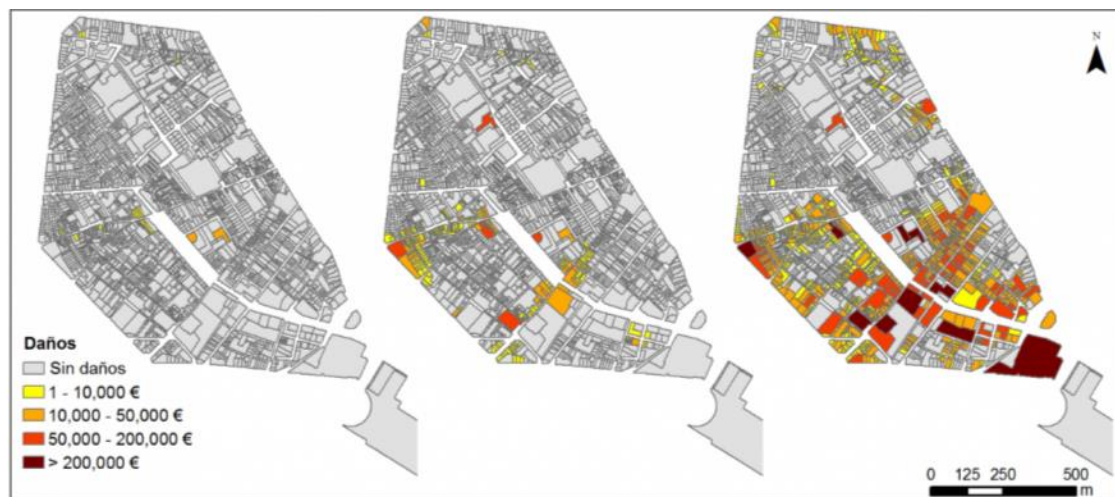


Figura 9. Daños en el barrio del Raval para un evento de periodo de retorno de 1 (izquierda), 10 (centro) y 100 años (derecha) (Estudio de daños de inundaciones en el barrio del Raval de Barcelona, 2013).

4 . CURVAS DE DAÑO

4.1 ¿Que son las curvas de daño?

Existen varios factores (profundidad, velocidad, carga, salinidad, etc.) que caracterizan una inundación y que determina el nivel de daño que es capaz de infligir. Sin embargo, no todos estos factores tienen la misma importancia para todos los elementos a estudiar ni se analizan de la misma forma (Tabla 1).

Tabla 1. Importancia de las características de las inundaciones en el impacto generado en algunos elementos del sistema (Nakamura et al, 2001)

FLOOD CHARACTERISTICS	AGRICULTURE	BUILDINGS	REGIONAL/NATIONAL ECONOMY	RISK TO LIFE
TIMING OF FLOOD	X			
DEPTH OF FLOODING		X		X
DURATION OF FLOODING	X		X	
FLOW VELOCITY		X		X
EXTENT OF FLOODING			X	
DEBRIS LOAD	X	X		

La determinación de la vulnerabilidad ante los fenómenos de inundación resulta de gran complejidad debido a la gran cantidad de factores y aspectos relacionados. Desgraciadamente algunos de estos factores no son completamente cuantificables ni fiablemente mesurables, o al menos no lo son mediante metodologías tecnológica, técnica y económicamente realizables.

Por otra parte, uno de los factores relativamente fácil de cuantificar es la profundidad del agua, un parámetro clave en la caracterización de una inundación. Una de las herramientas usadas tradicionalmente en la cuantificación de daños para un evento de inundación, basada en este parámetro, son las llamadas *curvas o funciones de daño*.

4.2 Tipos de curvas de daño

Como ya hemos explicado con anterioridad, no todos los factores afectan por igual a todos los elementos, y debido a esto no se podrán obtener curvas de daños para todos los tipos de elemento. Sin embargo, a los elementos como son las estructuras y los vehículos se les puede atribuir una relación directa entre el daño recibido y la altura del agua.

En la elaboración de curvas de daño de edificaciones solo se tienen en cuenta los daños directos a consecuencia del contacto con el agua, cuyo contacto irá en aumento junto con el calado del agua. Estos daños se podrán diferenciar en dos tipos: el estructural y el no estructural. El primero se refiere a la destrucción de elementos estructurales como pinturas, revestimientos, instalaciones eléctricas, tuberías, etc. El segundo se atribuye a los daños ligados al contenido de los edificios, según la tipología de los edificios el contenido variará.

En las curvas de daño para diferentes tipos de edificios pueden venir los daños del contenido ya incluidos (Figura 10) o ir por separado, teniendo de esta forma una curva para los daños de la estructura y otra para los daños del contenido (Figura 11).

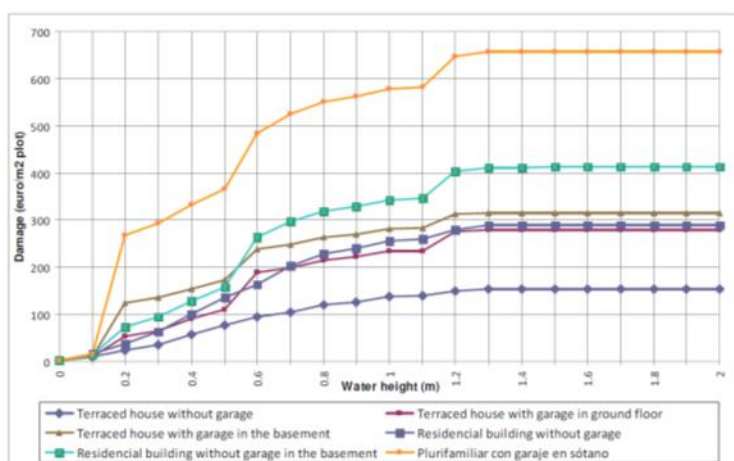


Figura 10. Curvas de daño para edificios residenciales considerando daños estructurales y de contenido para cada tipología de edificio (CRUE, 2008)

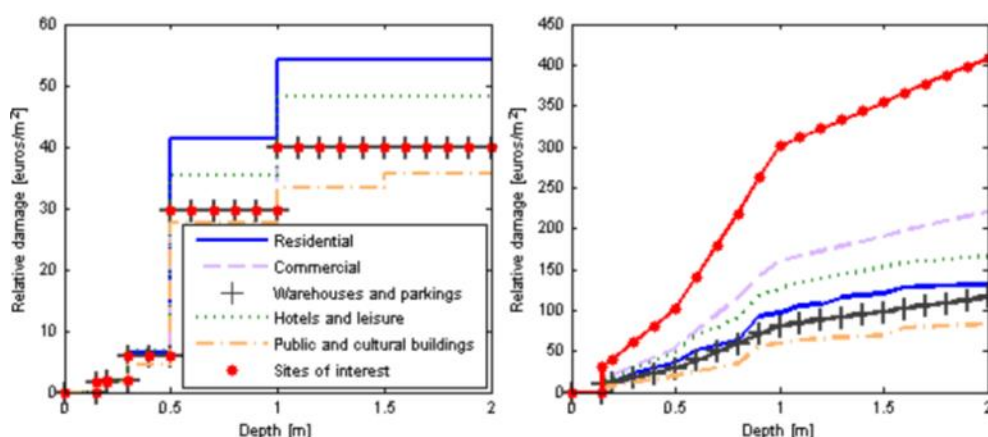


Figura 11. Curvas de daños para edificios (izquierda) y contenidos (derecha) considerando las condiciones locales del barrio del Raval (CORFU, 2013).

La realización de estas curvas es de carácter totalmente empírico. Para garantizar la fiabilidad y máxima aproximación a la realidad estas curvas se suelen realizar inmediatamente después de un evento de inundación. Este procedimiento se puede dividir en 4 fases:

- Identificar y diferenciar tipos de edificios representativos (residenciales, interés turístico, comerciales, hoteles, etc) de la zona de estudio.
- Tomar muestras de edificios de cada tipo y hacer una valoración tanto de la estructura como del contenido.
- Calcular la afección que causaría el nivel del agua para diferentes alturas en cada uno de los edificios.
- Promediar los resultados obtenidos para cada tipología de edificio y construir las funciones de daño según la profundidad del agua.

El vehículo es otro elemento susceptible a la altura del agua en una inundación. En zonas urbanas como ciudades, donde hay gran densidad de vehículos, vale la pena tener en cuenta los daños asociados a estos. Aun así, existen muy pocas curvas de daño para vehículos, y en España son inexistentes.

Al igual que para las curvas de daño para edificios, éstas se pueden dividir según las características de los vehículos a analizar como el tipo de combustible

del vehículo (gasolina, diésel, eléctrico...) o el tipo de vehículo (sedan, SUV, furgoneta, monovolumen...).

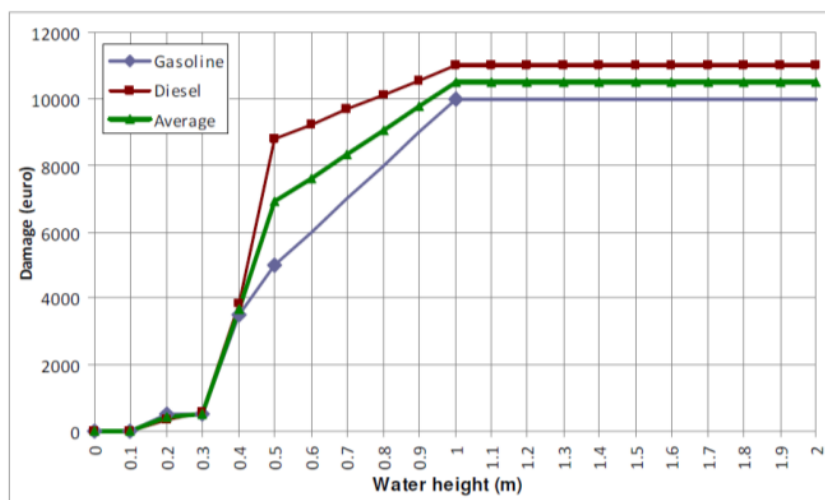


Figura 12. Curvas de daño en vehículos según el tipo de combustible. (CRUE, 2008)

4.3 Curvas de daño en vehículos

Como ya hemos dicho con anterioridad, los daños sobre vehículos en zonas urbanas pueden ser significativamente altos debido a la gran densidad de estos. Sin embargo, no hay muchos mapas de riesgo que tengan en cuenta los vehículos de forma directa y tampoco curvas de daño de vehículos. En el presente trabajo hemos podido obtener dos curvas de daños hechas por diferentes instituciones americanas, las curvas de daño propuestas por el *U.S. Army Corps of Engineers* y por *Federal Emergency Management Agency (FEMA)*.

4.3.1 U.S. Army Corps of Engineers

Las curvas de daño propuestas por el *U.S. Army Corps of Engineers* fueron el resultado del análisis de daños en zonas residenciales afectadas por inundaciones en 10 zonas residenciales diferentes. A las víctimas de estas zonas, se les pidió realizar una encuesta para determinar el alcance de los daños a sus bienes. La encuesta contenía algunas preguntas relacionadas con

los vehículos como el valor de los vehículos en el momento de la inundación, valor aproximado de las reparaciones resultantes por la inundación, modelo de los vehículos y la altura de la lámina de agua alrededor del vehículo.

El modelo del vehículo se utilizó para clasificarlos por categorías. Se dividieron en sedanes, deportivos, monovolúmenes, camionetas, SUV's, etc. Para el cálculo del daño relativo se dividió el daño estimado del vehículo entre el valor total de mercado del mismo. Se obtuvo una muestra de 640 vehículos de diferentes categorías (Tabla 2).

Tabla 2. Tabla de vehículos muestra clasificados por categorías (U.S. Army Corps of Engineers, 2009)

Vehicle Category	Frequency	Percent of Total
Boat	14	2%
Motor Home	7	1%
Motorcycle	23	4%
Pickup Truck	125	20%
Sedan	369	57%
Sports Car	37	6%
Sports Utility Vehicle	31	5%
Mini Van	34	5%
Total	640	100%

Mediante un análisis de regresión de las variables de profundidad del agua y daño relativo para cada categoría de vehículo, se realizaron las funciones de daño y se representaron gráficamente (Figura 13).

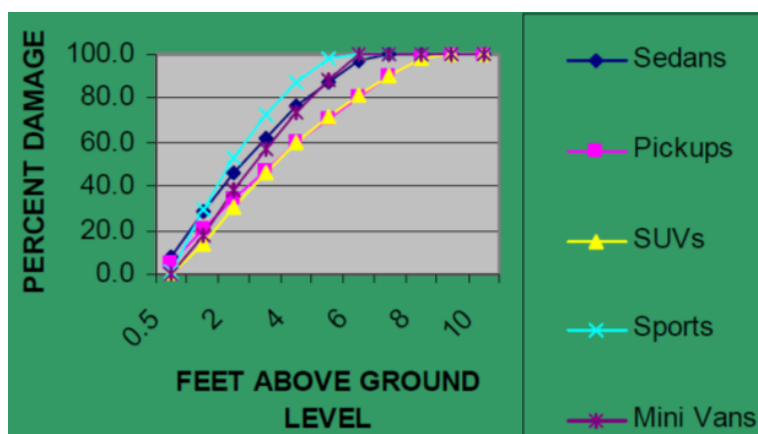


Figura 10. Curvas de daño relativo en vehículos en función de la profundidad del agua (U.S. Army Corps of Engineers, 2009)

Se puede apreciar que los vehículos más bajos, deportivos y sedanes, son los que se ven afectados antes por el agua llegando al nivel de 100% de daño alrededor de los 6,5 pies, unos dos metros. Por otro lado, las furgonetas y los SUVs se ven afectados a alturas más altas, llegando al 100% de daños alrededor de los 8,5 pies, unos dos metros y medio, debido a que la altura significativamente más elevada de las estructuras de estos vehículos los hace menos susceptibles al daño en una inundación.

Por otro lado, parece excesivo pensar que hace falta esta altura tan elevada para causar el daño absoluto a estos vehículos. La mayor parte de componentes eléctricos y mecánicos se encuentran por debajo de la altura del salpicadero, y sería lógico esperar que una vez la altura del agua llegue al nivel del salpicadero, el daño producido al vehículo se pueda considerar casi total.

Las alturas de 2m y 2,5m, según el tipo de vehículo, donde se produce el daño total del vehículo, quedan muy alejadas de la altura que se esperaría del salpicadero en estos mismos vehículos. Esto nos hace sospechar que estas curvas de nivel no son acertadas si se quiere hacer una estimación realista. Esto puede ser debido a que la muestra de vehículos recogida no era lo suficientemente larga y que los datos proporcionados por las personas encuestadas no fuera lo suficientemente precisos.

4.3.2 HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology

Hazus es un sistema de información geográfico basado en el análisis del impacto de desastres naturales. Ha sido desarrollado por la FEMA (Federal Emergency Management Agency). Utiliza la tecnología de información geográfica para hacer estimaciones de los impactos económicos, físicos y sociales de desastres naturales como terremotos, huracanes e inundaciones.

Para la estimación de daños en vehículos ha desarrollado una metodología la cual asigna un daño al vehículo según si el nivel del agua se encuentra por debajo del suelo de la cabina, entre el suelo de la cabina y el salpicadero o por encima del salpicadero (Tabla 3).

Tabla 3. Daño relativo en vehículos según el nivel del agua (FEMA, 2006).

Flood Level (feet)	Car	Light Trk	Heavy Trk	% of Damage
Below Carpet	<1.5	<2.7	<5	15%
Between Carpet & Dashboard	1.5-2.4	2.7-3.7	5-7.5	60%
Above Dashboard	>2.4	>3.7	>7.5	100%

Las funciones de daño, se realizaron basándose en la localización de componentes críticos del vehículo de 3 categorías diferenciadas: *passenger cars*, *light trucks* y *heavy trucks* (Figura 11). Cabe destacar, que los datos mostrados son orientativos y deberían ser calibrados acorde con las características locales donde queramos hacer la estimación.

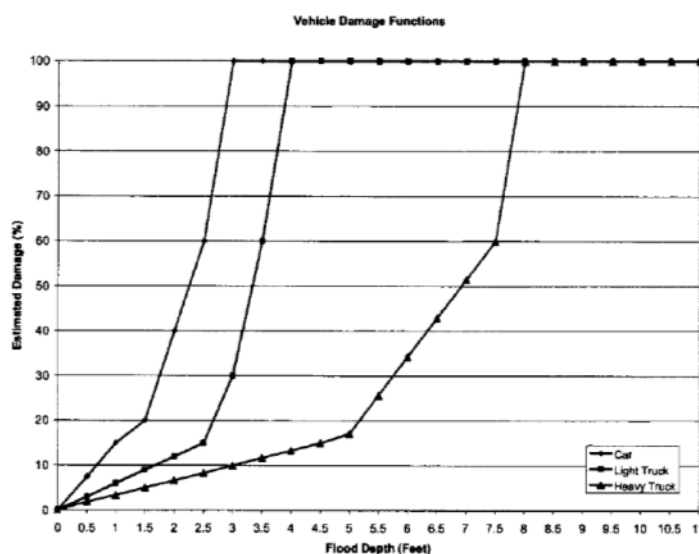


Figura 11. Curvas de daño relativo en vehículos en función de la profundidad del agua (FEMA, 2006).

En estas curvas se puede apreciar que la primera categoría llega al 100% de daños sobre los 3 pies de altura, unos 90 centímetros. En esta categoría ,si lo comparamos con las curvas propuestas por el *U.S. Army Corps of Engineers* , podríamos incluir los sedans y deportivos. La segunda categoría llegaría al 100% de daño a los 4 pies de altura, unos 120 centímetros, y en esta categoría

entrarían las furgonetas, monovolúmenes, SUVs y vehículos de mayor tamaño. En la última categoría entrarían los camiones de gran tamaño, de allí que su altura crítica de daños totales sea el doble que las demás, llegando a los 8 pies de altura, unos 240 cm.

Esta nueva metodología en la realización de curvas de daño, donde los daños se encuentran en alturas inferiores a la del salpicadero, nos dan unos resultados mucho más realistas que las curvas propuestas por el *U.S. Army Corps of Engineers*. La información obtenida de las localizaciones de componentes críticos en los vehículos y el valor de éstos respecto al total del vehículo, nos ha dado unos datos mucho más fiables que los que se pudieron obtener de las encuestas a víctimas de inundaciones realizadas por el *U.S Army Corps of Engineers*.

5 . ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN VEHÍCULOS

Ahora que hemos expuesto la base para en la realización de mapas de riesgo en inundaciones, nos dispondremos a hacer un análisis de daños simplificado en vehículos para diferentes alturas de lámina de agua en una inundación. Escogeremos una calle que cumpla con ciertas características y propondremos una metodología adaptada a nuestros recursos, que nos permitirá recopilar datos de una muestra lo suficientemente larga y calcular los daños de esta. Con la ayuda de las curvas de daño obtenidas de *Hazus* y *U.S. Army Corps of Engineers* podremos estimar los daños para diferentes alturas.

5.1 Factores de riesgo en vehículos

Como ya hemos dicho con anterioridad el impacto resultante de un evento de inundación depende de una gran cantidad de factores, y además no todos los factores presentan la misma importancia ni afectan por igual a todos los elementos, lo que hace que la tarea de estimar los daños totales para un evento de inundación sea realmente difícil. De allí que se tengan que analizar diversos elementos por separado, seleccionando los factores que podamos estimar con cierta precisión y que sean relevantes para el elemento a analizar.

El vehículo es uno de los elementos más vulnerables en una inundación, aun siendo uno de los primeros bienes a ser movido a un lugar seguro. Muchas veces la falta de aviso con suficiente antelación más la rápida formación de avenidas, dejan gran cantidad de vehículos a merced del agua.

Calado

Es la altura que alcanza el agua respecto a la localización de cada elemento en riesgo. Suele ser utilizado como referencia básica en la realización de curvas de

daño. Los daños resultantes estarán basados en el simple contacto con el agua sobre los diferentes elementos del vehículo.

Una vez el agua entra en la cabina del vehículo, el daño crece exponencialmente debido a la gran cantidad de elementos susceptibles al agua (tapicería, cableado eléctrico, componentes electrónicos, etc.), localizados en el interior, llegando rápidamente al daño total del vehículo. La altura aproximada que va desde el suelo hasta la solera de la puerta, de los tipos de vehículos utilizados en zonas urbanas, suele estar entre 30 y 40 cm según el modelo de vehículo. Cuando el agua de una inundación llega a estos niveles, muy probablemente empezará a abrirse paso hasta el interior. Vemos de esta forma que una inundación, no requiere de grandes calados para tener un gran impacto en los vehículos.

Velocidad

A velocidades bajas, las inundaciones son relativamente no muy peligrosas. En cambio, a medida que esta velocidad aumenta muchos elementos corren el riesgo de ser arrastrados por la fuerza del agua, dificultando de esta forma a la conducción segura. Además la combinación de la velocidad con el calado puede llegar a ser muy destructiva. Por ello, es habitual que se analicen conjuntamente en la evaluación de daños, creando unos umbrales de seguridad para diferentes elementos (Figura 12).

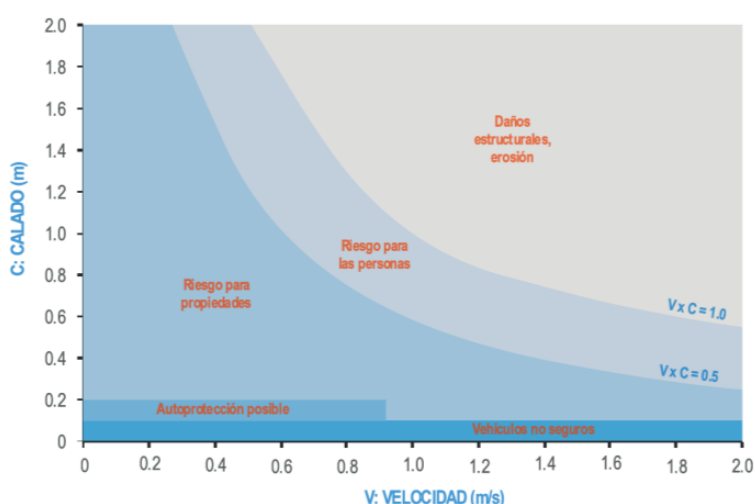


Figura 12. Capacidad destructiva de la combinación velocidad-calado (Stephenson, 2002.)

Otros factores

A medida que el calado aumenta, aparece un nuevo factor a tener en cuenta, el factor de flotabilidad. El interior relativamente aislado y la forma del vehículo lo hacen susceptible a flotar cuando el nivel del agua llega a ciertos niveles. Un calado de entre 30 cm y 50 cm, dependiendo de la velocidad, es suficiente para hacer flotar un vehículo y arrastrarlo (Smart Driving, 2012).

Por otro lado, el efecto de los sedimentos flotando en el agua también causa daños en los vehículos. En zonas urbanas el material urbano, como contenedores de basura, requiere de muy poco calado para empezar a ser arrastrado por el agua. Esto puede causar que colisionen con vehículos aumentando el daño considerablemente.

Sin embargo, difícilmente podremos cuantificar el daño aportado por estos factores. La gran cantidad de variables a tener en cuenta más la compleja relación entre estos factores y los daños de los vehículos, los hace factores difícilmente cuantificables a la hora de estimar el impacto que tienen sobre los vehículos en un evento de inundación.

5.2 Asunciones previas

Asumiremos una serie de simplificaciones para facilitar la estimación de daños, que como ya hemos visto con anterioridad requeriría de una serie de procesos de cierta complejidad y unos recursos considerablemente extensos. Para solventar estas limitaciones partiremos de las siguientes asunciones previas:

- Altura de la lámina de agua: asumiremos que la lámina de agua es uniforme a lo largo de toda la vía escogida. No requerirá de un estudio hidrológico-hidráulico para saber los diferentes calados a lo largo de la vía.
- Velocidades del agua: la velocidad del agua a lo largo de la vía se considerarán lo suficientemente lentas como para no desplazar los vehículos, suprimiendo los daños resultantes de este fenómeno de arrastre. Esto será cierto hasta un calado determinado puesto que una

vez el vehículo empiece a flotar, se verá desplazado aún a velocidades muy bajas.

- Elementos arrastrados por el agua: no tendremos en cuenta los posibles elementos urbanos, contenedores de residuos, que se puedan ver arrastrados por el agua, ocasionando daños al colisionar con los vehículos.

Con estas asunciones previas vemos que nuestra estimación se basará en cuantificar los daños derivados del simple contacto del agua de una inundación con los elementos susceptibles al agua de los vehículos, aumentando estos daños junto con la altura de la lámina de agua.

5.3 Selección de la vía

Para poder realizar algunas de las simplificaciones establecidas, la vía escogida a estudiar debía satisfacer una serie de aspectos:

- Número significativo de vehículos estacionados a lo largo de la vía
- Número significativo de vehículos circulando a lo largo de la vía
- Uniformidad morfológica lo largo de la vía
- Antecedentes de inundaciones previos

La calle escogida ha sido la *Avenida Del Paralelo* en su totalidad, desde *Plaza España* hasta *Plaza de Drassanes*. La calle es de doble sentido y consta de 3 carriles para cada sentido, se puede estacionar a ambos lados de la calle y presenta una cantidad significativa de vehículos circulando a lo largo de la vía.



Figura 13. Tramo de vía de la Avenida del Paralelo. (Google Maps, 2016)

A lo largo de toda la vía no se aprecian cambios de pendiente significativos ni tampoco se aprecian grandes cambios de sección. Podemos afirmar con esto que existe una uniformidad morfológica a lo largo de la vía.

En lo que se refiere a eventos de inundación anteriores que hayan afectado a la vía escogida, encontramos dos eventos relativamente recientes que tuvieron lugar en 2009 y 2011.

El primero tuvo lugar el 21 de Octubre de 2009, cayó una media de 50 mm en Barcelona, lo que no es una precipitación excepcional pero tuvo puntas realmente destacables, pues se registró una intensidad 5-minutal máxima de 121 mm/h en la zona de Vall d'Hebron llegando a dejar 85 mm en apenas dos horas (La Vanguardia, 2009) lo que supone un periodo de retorno cercano a los 10 años.

El segundo tuvo lugar el 30 de Julio de 2011, donde al igual que el primero se registraron unas precipitaciones altas, aunque no excepcionales. Aún así se llegó a registrar en apenas media hora descargas de 59 mm en el área de Barcelona. (el Periódico, El País, 2011).



Figura 14. Mapa topográfico de zona donde se encuentra la Avenida del Paralelo (topographic-map, 2016)

La morfología de Barcelona con fuertes pendientes en la parte alta de la ciudad y zonas llanas cerca de la costa, más la combinación de episodios de lluvias intensas hace que la zona baja de la ciudad sea susceptible a quedar inundada. En esta zona es donde estará situada gran parte de nuestra vía a estudiar (Figura 14). Además está localizada justo en la cara norte de Montjuic, una zona con grandes pendientes que agravan aún más la situación, y tampoco hay que olvidar que se trata de una zona completamente urbanizada, lo que hará que presente una fuerte tasa de superficie impermeable. Todos estos factores combinados facilitarán la acumulación de caudales de escorrentía superficial durante episodios de lluvia extremos con altas intensidades como los que ya tuvieron lugar (Figura 15).



Figura 15. Efectos de dos eventos extremos de lluvia en el Raval de Barcelona. A la izquierda situación de la Avenida del Paralelo durante el episodio del 21/10/2009 y, a la derecha, situación en la de la Avenida del Paralelo durante el episodio del 30/07/2011.

5.4 Separación por tramos

Hemos dividido la vía de estudio en once tramos diferentes, lo que nos permitirá hacer un análisis por separado a cada tramo. Hemos delimitado los tramos según las calles secantes del lado norte de nuestra vía y registrado datos para cada uno, tales como: longitud de tramo, longitud de acera norte y sur, aceras aparcables, carriles por sentido, nº de vehículos, daños potenciales, daños por metro lineal de acera, etc.

Tabla 4. Delimitación por tramos de la Avenida del Paralelo

Tramo	De	Hasta	Longitud [Km]
1	Pl. Espanya	C/ Llança	0,18
2	C/ Llança	C/ Vilamarí	0,19
3	C/ Vilamarí	C/ Entença	0,19
4	C/ Entença	C/ Rocafort	0,2
5	C/ Rocafort	C/ Calàbria	0,19
6	C/ Calàbria	C/ Viladomat	0,19
7	C/ Viladomat	C/ Comte Borrell	0,18
8	C/ Comte Borrell	Ronda de Sant Pau	0,21
9	Ronda de Sant Pau	C/ Nou de la Rambla	0,17
10	C/ Nou de la Rambla	C/Portal de Santa Madrona	0,28
11	C/Portal de Santa Madrona	Pl. Drassanes	0,22

Tabla 5. Geometría de la Avenida del Paralelo

Tramo	Carriles por sentido	Sentido	aceras aparcables	Longitud de tramo [m]	Longitud de acera N [m]	Longitud de acera S [m]
1	3	doble	0	180	160	170
2	3	doble	1	190	170	170
3	3	doble	2	190	170	150
4	3	doble	2	200	190	190
5	3	doble	2	190	180	180
6	3	doble	2	190	180	180
7	3	doble	2	180	170	150
8	3	doble	2	210	200	190
9	3	doble	2	170	150	150
10	3	doble	2	280	260	250
11	3	doble	0	220	220	200

5.5 Muestra de vehículos

Para la obtención de datos de los vehículos muestra de la Avenida del Paralelo dividimos los vehículos en dos grupos. El primer grupo lo conformaban todos los coches estacionados en ambos lados de la vía y el segundo grupo estaba formado por los vehículos circulando a lo largo y en ambos sentidos de la vía.

Debido a la diferencia entre el estatismo de los vehículos estacionados y el dinamismo de los vehículos circulando aplicamos diferentes métodos para la obtención de datos y el cálculo del valor económico de estos vehículos.

5.5.1 Vehículos estacionados

La muestra de vehículos se obtuvo el 14 de julio de 2016 por la tarde, desde las 17h hasta las 21h. Para la recopilación de datos de vehículos estacionados a lo largo de nuestra vía, hemos localizado cada vehículo según el tramo de vía que estuviera y según la acera en el que se encontraba, acera norte si estaban en la acera más cerca del *Ensanche* y acera sur si estaban en la acera más cerca de *Montjuic*. Además de la localización recogimos toda la información posible que pudimos obtener del exterior de cada vehículo. En la tabla 5 se indican los datos que se tomaron para cada vehículo.

Tabla 6. Datos de localización y características de los vehículos muestra a lo largo de la Avenida del Paralelo.

Nº	Acera	Tramo	Matrícula	Año	edad [años]	tipo	marca	modelo	potencia [cv]
1									
2									
3									
...									

Recopilamos datos de un total de 141 vehículos estacionados en ambos lados de la vía. Con el número de vehículos por tramos junto con la distancia en cada tramo calculamos la densidad de vehículos estacionados. Cabe destacar que en el primer y último tramo no se registró ningún vehículo estacionado debido a que no había zonas de estacionamiento habilitadas. En la tabla número 6 se ven representados la cantidad de vehículos según el tramo y la de acera en el que estuvieran estacionados junto con las densidades.

Tabla 7. Número de vehículos estacionados clasificados por tramo y lado de acera ocupado en la vía.

Tramo	Distancia [Km]	vehículos Acera N	vehículos Acera Sur	nº vehículos total	Densidad [veh/km]
1	0,18	0	0	0	0
2	0,19	3	0	3	16
3	0,19	6	5	11	58
4	0,2	6	13	19	95
5	0,19	8	3	11	58
6	0,19	10	6	16	84
7	0,18	9	8	17	94
8	0,21	8	10	18	86
9	0,17	7	17	24	141
10	0,28	15	7	22	79
11	0,22	0	0	0	0
TOTAL	2,2	72	69	141	64

5.5.2 Vehículos circulando

La muestra de vehículo circulando se obtuvo 4 de julio de 2016 por la tarde, desde las 17h hasta las 21h, mismo momento que en la de vehículos estacionado. Se han separado los vehículos, al igual que en los estacionados, por tramo y lado de acera por el cual estuvieran circulando. En este caso, debido a que estos estaban en continuo movimiento, nos fue imposible recopilar datos de la cantidad de vehículos circulando por nuestra vía y aún menos obtener datos específicos de los vehículos. No disponíamos de los medios necesarios para ello.

Sin embargo, pudimos estimar de una forma aproximada los vehículos que circulaban en cada tramo de nuestra vía. Situándonos en los semáforos en los extremos de los lados, para ambos sentidos, pudimos hacer un recuento del número de vehículos que circulaban por ese tramo en cada sentido, hicimos un recuento de vehículos para 4 ciclos de parada del semáforo e hicimos la media. Esto nos dio un valor aproximado del número de vehículos que circulaban en aquel momento en cada tramo y acera, sin embargo, no teníamos forma de registrar las características de cada uno de los vehículos. En la tabla número 7 se ven representados la cantidad de vehículos

circulando según el tramo y el lado de la acera en el que estuvieran circulando junto con las densidades.

Tabla 8. Número de vehículos circulando clasificados por tramo y lado de acera ocupado en la vía.

Tramo	vehículos Norte	vehículos Sur	nº vehículos total	Densidad [veh/km]
1	17	14	31	172
2	3	6	9	47
3	7	6	13	68
4	7	8	15	75
5	6	8	14	74
6	13	8	21	111
7	7	9	16	89
8	6	12	18	86
9	15	3	18	106
10	12	9	21	75
11	19	17	36	164
TOTAL	112	100	212	96

5.6 Evaluación del valor de los vehículos muestra

Para la estimación del valor de los vehículos estacionados, nos hemos servido de todas las características registradas para buscar modelos lo más similares posibles en páginas web de compra venta de coches de segunda mano.

Con la ayuda de un software de valoración y gestión de siniestros , que ofrece una muestra gratis de 30 días proporcionado por *GT Motive*, pudimos contrastar los datos recogidos en campo directamente de la muestra con los datos que nos proporcionaba el software al implementar la matrícula y/o número de bastidor. Esto nos permitió poder averiguar el modelo de motor en muchos vehículos, siendo de esta forma más precisos a la hora de estimar el valor de los vehículos estacionados.

Para los vehículos que no pudimos obtener el modelo del motor, comparamos los diferentes modelos que estaban a la venta y le asignamos el más frecuente.

En algunos casos el vehículo era una furgoneta adquirida recientemente, con lo cual, nos fue imposible encontrar modelos similares a la venta. Para solventar este problema les asignamos el precio de venta nuevo en la actualidad y le aplicamos un coeficiente de depreciación para la edad correspondiente del vehículo obtenidos de la figura 16. En el anejo uno encontramos la lista de todos los vehículos muestra estacionados junto con las características y valor promedio estimados de cada uno.

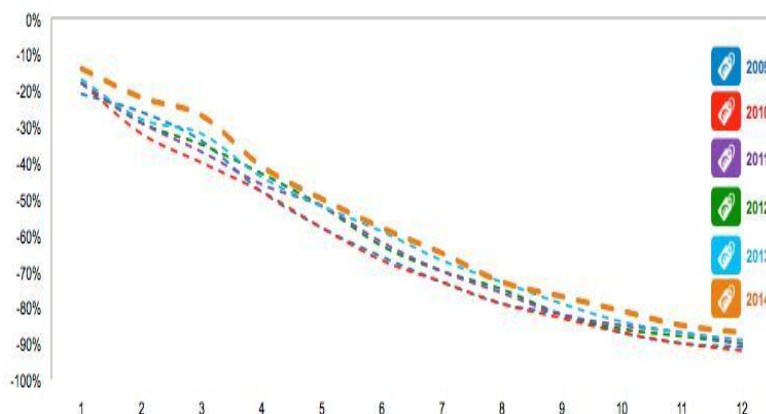


Figura 16. Evolución de la depreciación de los vehículos (Audatex, 2015)

Para la evaluación del valor de los vehículos circulando no disponíamos de la misma información que pudimos registrar para los vehículos estacionados, tuvimos que asumir que la distribución de vehículos que estaban circulando era la misma que la de los vehículos que estaban estacionados a lo largo de la vía. De esta manera, hemos asignado valores promedio a los vehículos en circulación. El valor promedio que obtuvimos fue de 7212.01€ por vehículo.

Tabla 9. Valor estimado de los vehículos por tramos.

Tramo	Valor veh. estacionados	Valor veh. circulando	Valor total veh.
1	0,00 €	223.572,37 €	223.572,37 €
2	27.776,44 €	64.908,11 €	92.684,55 €
3	73.309,04 €	93.756,16 €	167.065,19 €
4	86.785,36 €	108.180,18 €	194.965,54 €
5	111.032,03 €	100.968,17 €	212.000,20 €
6	91.932,62 €	151.452,25 €	243.384,87 €

7	105.036,54 €	115.392,19 €	220.428,73 €
8	110.502,57 €	129.816,22 €	240.318,79 €
9	218.982,05 €	129.816,22 €	348.798,26 €
10	191.537,05 €	151.452,25 €	342.989,30 €
11	0,00 €	259.632,43 €	259.632,43 €
TOTAL	1.016.893,68 €	1.528.946,53 €	2.545.840,22 €

Con esto ya hemos estimado el valor económico expuesto, el daño a vehículos potencial en una inundación de la *Avenida del Paralelo*, un valor de más de 2,5M de euros.

5.7 Estimación de daños aplicando las curvas de daño

Para la estimación de daños en vehículos a consecuencia del nivel de lámina de agua disponemos de dos curvas diferentes: las curvas de *U.S. Army Corps of Engineers* y las curvas de *HAZUS*.

Las primeras se organizaran en cinco grupos diferentes de curvas, según el tipo de vehículo se dividieron en *sedanes*, *pickups*, *SUVs* (*Sport Utility Vehicle*), *sports* y *minivans*. Las segundas se dividieron en solo tres grupos denominados *cars*, *light trucks* y *heavy trucks*.

5.7.1 Aplicación de las curvas de U.S. Army Corps of Engineers

Para el uso de las curvas proporcionadas por el *U.S. Army Corps of Engineers* clasificamos los vehículos muestra en cinco grupos según el tipo. Los grupos son sedanes, SUVs (*Sport Utility Vehicle*), monovolúmenes, furgonetas G (furgonetas grandes) o Furgonetas P (furgonetas pequeñas). En la tabla 9 se indica que curva se usó para cada tipo de vehículo.

Tabla 10. Clasificación equivalente para el uso de las curvas del U.S. Army Corps of Engineers

Sedanes	SUVs	Minivans	Pickups	Sports
sedan	SUV	Monovolumen	Camionetas	Deportivos
		Furgoneta P		
		Furgoneta G		

En nuestros vehículos muestra no se registró ningún vehículo deportivo ni furgonetas con lo que solo se ha hecho uso de 3 tipos de curvas, registrando un total de 95 vehículos en la categoría de sedanes, 34 en minivans y 12 en SUVs. En la figura 17 podemos ver las curvas de daño utilizadas y la curva de daños relativo resultante de aplicar las curvas a los 141 vehículos muestra. Vemos que la curva resultante de los daños en los vehículos muestra se aproxima mucho más a las curvas para sedanes y Minivans que a la curva para los SUVs, esto es debido a la poca proporción de vehículos SUV registrados en nuestra muestra, apenas llega a un 8,5% del total.

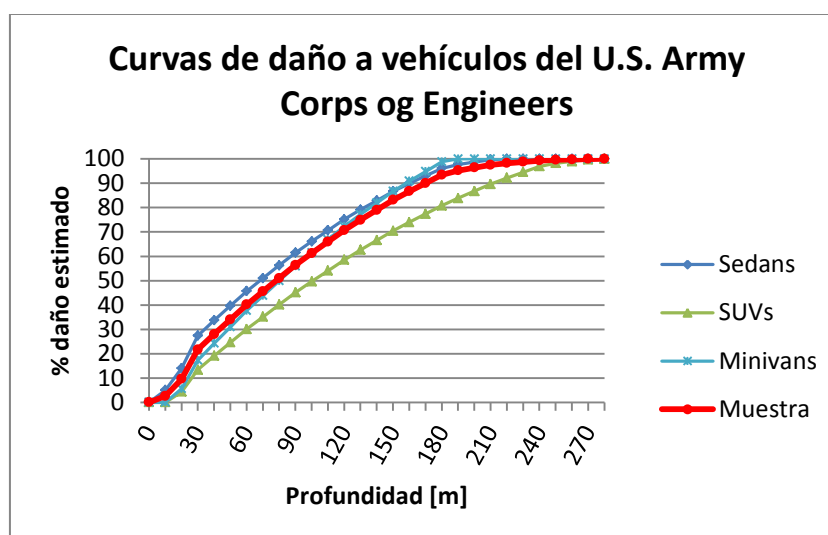


Figura 17. Comparación de las curvas de daño del U.S. Army Corps of Engineers con la curva de daño resultante al aplicar las curvas en los vehículos muestra.

Al aplicar las distintas curvas de daño al valor estimado de nuestra muestra de vehículos estacionados hemos obtenido los daños económicos para distintas profundidades. Para los vehículos en circulación al no tener información sobre el tipo de vehículos, hemos utilizado la curva de daños relativo resultante de aplicar las curvas a los vehículos estacionados. Para estimar el valor de los vehículos en circulación hemos utilizado el valor promedio de los vehículos estacionados y multiplicado por el número de vehículos circulando. En la tabla 9 podemos ver el daño que produciría una inundación uniforme a diferentes alturas en vehículos estacionados y circulando.

Tabla 11. Daños a diferentes profundidades en vehículos de la Avenida del Paralelo aplicando curvas U.S. Army Corps

Profundidad [cm]	daños veh. estacionados	daños veh. Circulando	daños totales
10	27.518,81 €	41.375,80 €	68.894,61 €
20	100.655,20 €	151.339,74 €	251.994,94 €
30	224.009,27 €	336.808,26 €	560.817,53 €
40	288.949,44 €	434.448,80 €	723.398,24 €
50	350.944,36 €	527.661,03 €	878.605,39 €
60	412.939,29 €	620.873,26 €	1.033.812,55 €
70	468.793,30 €	704.852,34 €	1.173.645,63 €
80	523.995,17 €	787.850,90 €	1.311.846,07 €
90	579.197,04 €	870.849,46 €	1.450.046,50 €
100	628.584,06 €	945.105,12 €	1.573.689,18 €
110	676.992,88 €	1.017.890,01 €	1.694.882,89 €
120	725.401,70 €	1.090.674,90 €	1.816.076,60 €
130	768.321,73 €	1.155.207,14 €	1.923.528,87 €
140	809.937,49 €	1.217.778,36 €	2.027.715,85 €
150	851.553,26 €	1.280.349,58 €	2.131.902,83 €
160	887.796,10 €	1.334.842,37 €	2.222.638,47 €
170	922.342,24 €	1.386.784,08 €	2.309.126,32 €
180	956.888,38 €	1.438.725,79 €	2.395.614,17 €
190	974.488,67 €	1.465.188,64 €	2.439.677,30 €
200	985.234,45 €	1.481.345,42 €	2.466.579,88 €
210	995.980,24 €	1.497.502,21 €	2.493.482,45 €
220	1.002.478,02 €	1.507.271,91 €	2.509.749,93 €
230	1.006.826,20 €	1.513.809,60 €	2.520.635,80 €
240	1.011.174,38 €	1.520.347,29 €	2.531.521,67 €
250	1.013.662,50 €	1.524.088,30 €	2.537.750,81 €
260	1.014.991,11 €	1.526.085,93 €	2.541.077,04 €
270	1.016.319,72 €	1.528.083,56 €	2.544.403,28 €
280	1.016.893,68 €	1.528.946,53 €	2.545.840,22 €

Representando estos valores a una gráfica podemos observar una fuerte pendiente a profundidades pequeñas, hasta los 30 cm, seguido de una disminución de la pendiente que sigue constante hasta llegar al daño total de los vehículos alrededor de los 180 cm.

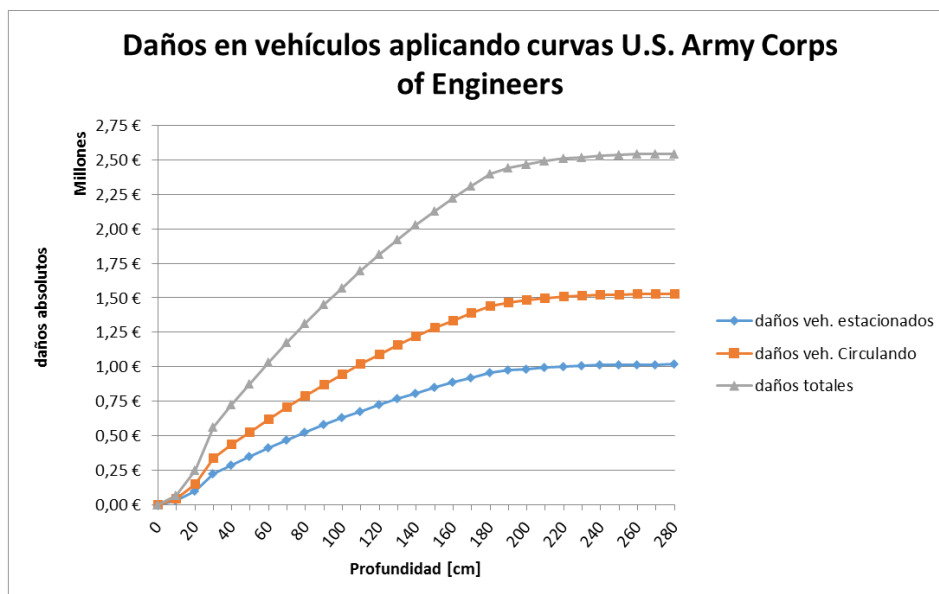


Figura 18. Daños absolutos en vehículos aplicando las curvas de U.S. Army Corps of Engineers.

5.7.2 Aplicación de las curvas de Hazus

Para el uso de las curvas proporcionadas por HAZUS clasificamos los vehículos muestra en cinco grupos según el tipo. Los grupos son los anteriormente utilizados con las otras curvas. En la tabla 9 se indica que curva se usó para cada tipo de vehículo.

Tabla 12. Clasificación equivalente para las curvas de HAZUS

cars	light trucks	Heavy trucks
sedan	SUV	Camiones
	furgoneta G	
	monovolumen	
	furgoneta P	

En nuestros vehículos muestra no se registró ningún camión, con lo que solo se ha hecho uso de 2 tipos de curvas, registrando un total de 95 vehículos en la categoría de *cars* y 46 en *light trucks*. En la figura 19 podemos ver las curvas de daño utilizadas y la curva de daño relativo resultante de aplicar estas curvas a los 141 vehículos muestra. Vemos que una vez más, la curva resultante de los daños en vehículos muestra es más próxima a la curva correspondiente a los vehículos sedan, esto es debido, a la mayor proporción de este tipo de

vehículos frente al grupo de los *light trucks*, siendo este último solo un 38% de los 141 vehículos registrados.

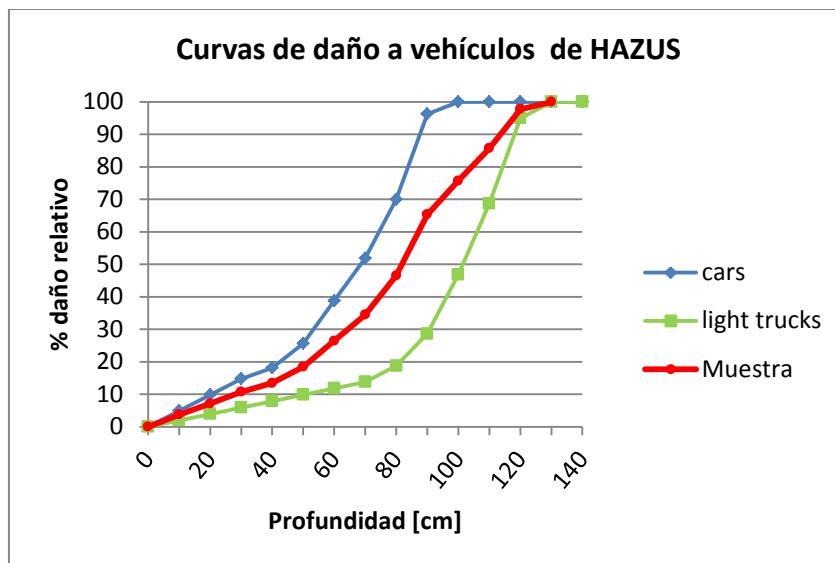


Figura 19. Comparación de las curvas de daño de HAZUS con la curva de daño resultante al aplicar las curvas en los vehículos muestra.

Para la obtención de daños económicos a distintas profundidades, al igual que para las curvas anteriores, se aplican las curvas al valor estimado de nuestra muestra de vehículos estacionados y para los vehículos circulando se usa la curva de daños resultante de aplicar las curvas a los vehículos estacionados y se aplica al valor estimado de vehículos circulando obtenido a partir del valor promedio de los vehículos estacionados. En la tabla 12 podemos ver el daño que produciría una inundación uniforme a diferentes alturas en vehículos estacionados y circulando haciendo uso de las curvas de HAZUS.

Tabla 13. Daños a diferentes profundidades en vehículos de la Avenida del Paralelo aplicando las curvas de HAZUS

Profundidad [cm]	daños potenciales veh. estacionados	daños potenciales veh. Circulando	daños potenciales totales
0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
10	37.923,86 €	57.020,26 €	94.944,12 €
20	72.623,25 €	109.192,41 €	181.815,66 €
30	108.934,88 €	163.788,61 €	272.723,48 €
40	136.628,77 €	205.427,65 €	342.056,42 €
50	187.134,31 €	281.365,06 €	468.499,36 €
60	268.707,14 €	404.013,57 €	672.720,70 €

70	350.279,96 €	526.662,07 €	876.942,04 €
80	473.287,06 €	711.608,91 €	1.184.895,97 €
90	663.897,42 €	998.200,38 €	1.662.097,81 €
100	769.711,29 €	1.157.296,41 €	1.927.007,70 €
110	871.391,75 €	1.310.177,67 €	2.181.569,42 €
120	993.457,13 €	1.493.708,59 €	2.487.165,73 €
130	1.016.893,68 €	1.528.946,53 €	2.545.840,22 €
140	1.016.893,68 €	1.528.946,53 €	2.545.840,22 €

Representando estos valores a una gráfica podemos observar una pendiente moderada a profundidades pequeñas, hasta los 40 cm, seguidos de un fuerte aumento de la pendiente hasta llegar a casi el daño total de los vehículos alrededor de los 120 cm.

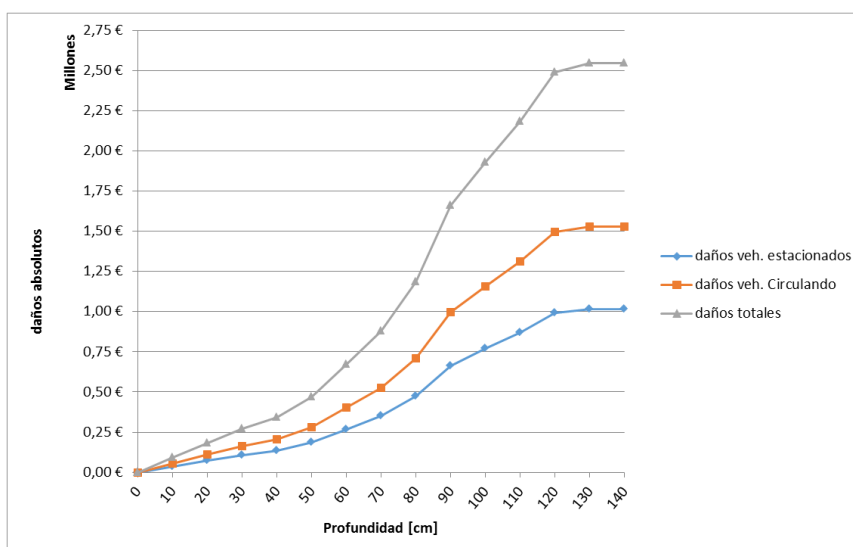


Figura 20. Daños absolutos en vehículos aplicando las curvas de HAZUS

5.7.3 Comparación de las curvas de daño resultantes

Al representar gráficamente los daños económicos al aplicar ambos grupos de curvas de daño se ve claramente que tienen tendencias que difieren sensiblemente a lo largo de las diferentes profundidades (Figura 21).

Aplicando las curvas de HAZUS se ha alcanzado el máximo daño alrededor de los 130 cm mientras que al usar las del U.S. Army Corps of Engineers se llega alrededor de los 200 cm. Partiendo de la idea que la mayor parte de componentes electrónicos y mecánicos de un vehículo se encuentran por debajo de la altura del salpicadero, sería lógico pensar que a esa misma altura

los daños del vehículo fueran máximos. La altura de 2 m queda muy lejos de la altura del salpicadero para los vehículos analizados, que van desde los 80 a 120 cm según el tipo y/o modelo. Sin embargo, la altura de 130 cm para el daño máximo obtenida de aplicar las curvas de HAZUS si se adaptan a esta idea. También, se puede apreciar un incremento pronunciado de daños sobre los 40 cm, esto se podría explicar con la idea de que una vez el agua tiene la altura suficiente como para entrar dentro de la cabina del vehículo los daños se incrementan muy rápidamente.

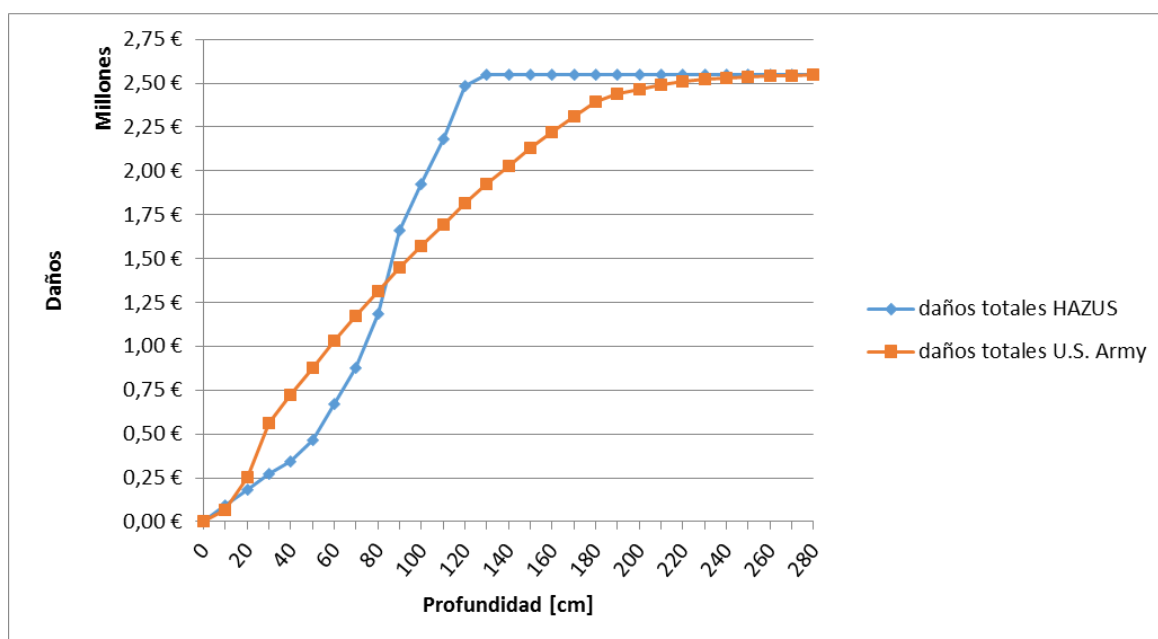


Figura 21. Comparación de daños absolutos en vehículos aplicando las curvas de daños de HAZUS y del U.S. Army Corps of Engineers

Claramente nos inclinaremos por las curvas propuestas por HAZUS para el análisis de resultados final, partiendo de las ideas expuestas anteriormente concluimos que los daños resultantes de aplicar estas curvas se ajustarán a la realidad más que las propuestas por el U.S. Army Corps of Engineers.

5.8 Resultados

Para la realización del análisis de resultados usaremos los obtenidos a partir de las curvas proporcionadas por HAZUS. Analizaremos por separado los

resultados obtenidos de la muestra de vehículos estacionados y la muestra de vehículos circulando. En la Figura 22 tenemos representados los daños potenciales económicos totales que hay en cada tramo de nuestra vía. Cabe destacar que en el tramo 1 y 11 no había zonas habilitadas para estacionar y en el tramo 2 gran parte de la acera norte y la acera sur entera tampoco, de allí que el daño a vehículos estacionados sea prácticamente nulo en esos tramos.

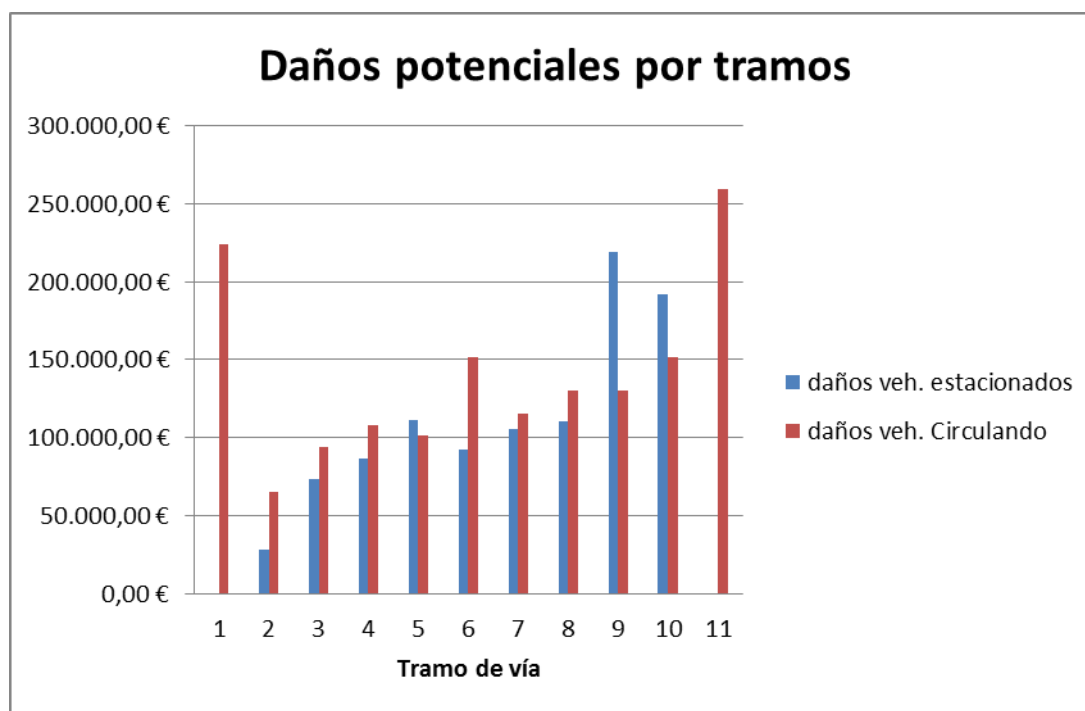


Figura 22. Daños potenciales por tramos de la Avenida del Paralelo de los vehículos estacionados y circulando.

En las siguientes tablas se mostraran los resultados obtenidos de aplicar las curvas de HAZUS en la muestra de vehículos recogida en la Avenida del Paralelo. Se recogen los resultados de la estimación de daños de cada tramo a diferentes profundidades de agua, establecidas en intervalos de 10 cm hasta llegar al daño máximo alcanzado a una profundidad de 130 cm.

5.8.1 Vehículos circulando

Tabla 14.a Daños a vehículos circulando en la Avenida del Paralelo aplicando las curvas de HAZUS

Tramo	Daño a 10 cm	Daño a 20 cm	Daño a 30 cm	Daño a 40 cm	Daño a 50 cm	Daño a 60 cm	Daño a 70 cm
1	8.337,87 €	15.966,81 €	23.950,22 €	30.038,95 €	41.143,00 €	59.077,46 €	77.011,91 €
2	2.420,67 €	4.635,53 €	6.953,29 €	8.720,99 €	11.944,74 €	17.151,52 €	22.358,30 €
3	3.496,53 €	6.695,76 €	10.043,64 €	12.596,98 €	17.253,52 €	24.774,42 €	32.295,32 €
4	4.034,45 €	7.725,88 €	11.588,82 €	14.534,98 €	19.907,90 €	28.585,87 €	37.263,83 €
5	3.765,49 €	7.210,82 €	10.816,23 €	13.565,98 €	18.580,71 €	26.680,14 €	34.779,57 €
6	5.648,23 €	10.816,23 €	16.224,34 €	20.348,97 €	27.871,07 €	40.020,21 €	52.169,36 €
7	4.303,42 €	8.240,94 €	12.361,40 €	15.503,97 €	21.235,10 €	30.491,59 €	39.748,08 €
8	4.841,34 €	9.271,05 €	13.906,58 €	17.441,97 €	23.889,49 €	34.303,04 €	44.716,59 €
9	4.841,34 €	9.271,05 €	13.906,58 €	17.441,97 €	23.889,49 €	34.303,04 €	44.716,59 €
10	5.648,23 €	10.816,23 €	16.224,34 €	20.348,97 €	27.871,07 €	40.020,21 €	52.169,36 €
11	9.682,69 €	18.542,11 €	27.813,16 €	34.883,94 €	47.778,97 €	68.606,08 €	89.433,18 €

Tabla 14.b Daños a vehículos circulando en la Avenida del Paralelo aplicando las curvas de HAZUS

Tramo	Daño a 80 cm	Daño a 90 cm	Daño a 100 cm	Daño a 110 cm	Daño a 120 cm	Daño a 130 cm	100% daño
1	104.056,02 €	145.963,26 €	169.227,31 €	191.582,58 €	218.419,65 €	223.572,37 €	223.572,37 €
2	30.209,81 €	42.376,43 €	49.130,51 €	55.620,75 €	63.412,16 €	64.908,11 €	64.908,11 €
3	43.636,40 €	61.210,40 €	70.966,29 €	80.341,08 €	91.595,34 €	93.756,16 €	93.756,16 €
4	50.349,69 €	70.627,39 €	81.884,18 €	92.701,25 €	105.686,93 €	108.180,18 €	108.180,18 €
5	46.993,04 €	65.918,89 €	76.425,23 €	86.521,17 €	98.641,13 €	100.968,17 €	100.968,17 €
6	70.489,56 €	98.878,34 €	114.637,85 €	129.781,75 €	147.961,70 €	151.452,25 €	151.452,25 €
7	53.706,33 €	75.335,88 €	87.343,13 €	98.881,33 €	112.732,72 €	115.392,19 €	115.392,19 €
8	60.419,62 €	84.752,86 €	98.261,02 €	111.241,50 €	126.824,31 €	129.816,22 €	129.816,22 €
9	60.419,62 €	84.752,86 €	98.261,02 €	111.241,50 €	126.824,31 €	129.816,22 €	129.816,22 €
10	70.489,56 €	98.878,34 €	114.637,85 €	129.781,75 €	147.961,70 €	151.452,25 €	151.452,25 €
11	120.839,25 €	169.505,73 €	196.522,03 €	222.483,00 €	253.648,63 €	259.632,43 €	259.632,43 €

5.8.2 Vehículos estacionados

Tabla 15.a Daños a vehículos estacionados en la Avenida del Paralelo aplicando las curvas de HAZUS

Tramo	Daño a 10 cm	Daño a 20 cm	Daño a 30 cm	Daño a 40 cm	Daño a 50 cm	Daño a 60 cm	Daño a 70 cm
1	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
2	1.366,95 €	2.733,90 €	4.100,85 €	5.034,02 €	7.115,43 €	10.760,64 €	14.405,84 €
3	3.118,63 €	6.237,27 €	9.355,90 €	11.588,36 €	16.166,57 €	23.939,48 €	31.712,40 €
4	3.588,60 €	7.177,21 €	10.765,81 €	13.359,98 €	18.586,47 €	27.397,94 €	36.209,40 €
5	4.612,62 €	9.225,24 €	13.837,86 €	17.166,89 €	23.893,66 €	35.247,81 €	46.601,96 €
6	3.178,64 €	6.357,28 €	9.535,93 €	11.990,55 €	16.361,69 €	23.342,96 €	30.324,23 €
7	3.380,45 €	6.760,89 €	10.141,34 €	12.827,46 €	17.351,51 €	24.378,62 €	31.405,73 €
8	4.270,41 €	8.540,82 €	12.811,24 €	15.973,54 €	22.069,07 €	32.159,38 €	42.249,70 €
9	8.383,54 €	13.542,62 €	20.313,93 €	25.783,83 €	34.698,63 €	48.305,05 €	61.911,47 €
10	6.024,01 €	12.048,02 €	18.072,02 €	22.904,13 €	30.891,27 €	43.175,26 €	55.459,25 €
11	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Tabla 15.b Daños a vehículos estacionados en la Avenida del Paralelo aplicando las curvas de HAZUS

Tramo	Daño a 80 cm	Daño a 90 cm	Daño a 100 cm	Daño a 110 cm	Daño a 120 cm	Daño a 130 cm	100% daño
1	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
2	19.436,22 €	26.726,62 €	27.776,44 €	27.776,44 €	27.776,44 €	27.776,44 €	27.776,44 €
3	42.810,73 €	59.334,75 €	64.505,32 €	68.126,80 €	72.474,32 €	73.309,04 €	73.309,04 €
4	48.887,79 €	67.875,38 €	74.503,42 €	79.555,70 €	85.620,85 €	86.785,36 €	86.785,36 €
5	62.917,86 €	87.329,27 €	95.704,05 €	102.009,34 €	109.578,71 €	111.032,03 €	111.032,03 €
6	40.981,03 €	57.634,77 €	67.711,80 €	77.675,23 €	89.636,13 €	91.932,62 €	91.932,62 €
7	42.462,53 €	60.094,10 €	72.840,41 €	86.084,55 €	101.983,87 €	105.036,54 €	105.036,54 €
8	57.061,78 €	79.577,82 €	89.483,85 €	98.130,07 €	108.509,68 €	110.502,57 €	110.502,57 €
9	83.732,40 €	118.955,97 €	146.885,45 €	176.542,97 €	212.146,22 €	218.982,05 €	218.982,05 €
10	74.996,70 €	106.368,73 €	130.300,54 €	155.490,67 €	185.730,92 €	191.537,05 €	191.537,05 €
11	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Tabla 16.a Daño lineal por metro de acera en vehículos estacionados aplicando las curvas de HAZUS

Tramo	Daños a 10 cm [€/m]	Daños a 20 cm [€/m]	Daños a 30 cm [€/m]	Daños a 40 cm [€/m]	Daños a 50 cm [€/m]	Daños a 60 cm [€/m]	Daños a 70 cm [€/m]
1	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
2	4,02 €	8,04 €	12,06 €	14,81 €	20,93 €	31,65 €	42,37 €
3	9,75 €	19,49 €	29,24 €	36,21 €	50,52 €	74,81 €	99,10 €
4	9,44 €	18,89 €	28,33 €	35,16 €	48,91 €	72,10 €	95,29 €
5	12,81 €	25,63 €	38,44 €	47,69 €	66,37 €	97,91 €	129,45 €
6	8,83 €	17,66 €	26,49 €	33,31 €	45,45 €	64,84 €	84,23 €
7	10,56 €	21,13 €	31,69 €	40,09 €	54,22 €	76,18 €	98,14 €
8	10,95 €	21,90 €	32,85 €	40,96 €	56,59 €	82,46 €	108,33 €
9	27,95 €	45,14 €	67,71 €	85,95 €	115,66 €	161,02 €	206,37 €
10	11,81 €	23,62 €	35,44 €	44,91 €	60,57 €	84,66 €	108,74 €
11	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

Tabla 16.b Daño lineal por metro de acera en vehículos estacionados aplicando las curvas de HAZUS.

Tramo	Daños a 80 cm [€/m]	Daños a 90 cm [€/m]	Daños a 100 cm [€/m]	Daños a 110 cm [€/m]	Daños a 120 cm [€/m]	Daños a 130 cm [€/m]	Daños a 140 cm [€/m]
1	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
2	57,17 €	78,61 €	81,70 €	81,70 €	81,70 €	81,70 €	81,70 €
3	133,78 €	185,42 €	201,58 €	212,90 €	226,48 €	229,09 €	229,09 €
4	128,65 €	178,62 €	196,06 €	209,36 €	225,32 €	228,38 €	228,38 €
5	174,77 €	242,58 €	265,84 €	283,36 €	304,39 €	308,42 €	308,42 €
6	113,84 €	160,10 €	188,09 €	215,76 €	248,99 €	255,37 €	255,37 €
7	132,70 €	187,79 €	227,63 €	269,01 €	318,70 €	328,24 €	328,24 €
8	146,31 €	204,05 €	229,45 €	251,62 €	278,23 €	283,34 €	283,34 €
9	279,11 €	396,52 €	489,62 €	588,48 €	707,15 €	729,94 €	729,94 €
10	147,05 €	208,57 €	255,49 €	304,88 €	364,18 €	375,56 €	375,56 €
11	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €

5.8.3 Análisis de resultados

Para el análisis de los resultados cabe recordar las simplificaciones que hemos impuesto previamente para estimar los daños de vehículos a lo largo de la Avenida del Paralelo:

- Asumimos que la profundidad del agua a lo largo de la vía es uniforme, se calculan los daños en toda la vía a una misma altura de agua
- La velocidad del agua es lenta con lo que los vehículos no se verán arrastrados pudiendo aumentar los daños por colisión.
- Elementos urbanos como contenedores de residuos no se ven desplazados por el agua ocasionando

Se ha observado que la vía a analizar tiene unas pendientes, aunque no iguales, muy similares y una geometría de sección muy similar a lo largo de todos los tramo. Debido a esta geometría daremos por válido el cálculo de daños con una profundidad uniforme de sección y lo largo de la vía. Por otra parte, se ha expuesto que a ciertas profundidades de agua, entre 30 y 50 cm según el tipo y/o modelo de vehículo, entra en juego un componente de flotabilidad y cualquier vehículo se verá arrastrado por el agua, aún si las velocidades son muy bajas. Este hecho nos lleva a pensar que cuanto mayor sea el calado, menor será la precisión de la estimación de daños, pues no hemos tenido en cuenta los daños a consecuencia de colisiones entre vehículos o por objetos urbanos arrastrados por el agua. Con esto fijaremos una profundidad de flotación de 50 cm, profundidad en la cual los vehículos ya no se pueden mantener estáticos y se ven arrastrados, por tanto nuestros resultados se alejarán de los daños reales.

Para los resultados obtenidos en la estimación de daños de vehículos estacionados hemos calculado el daño lineal por metro de acera para cada tramo. A la hora de hacer el promedio para cada profundidad hemos descartado los tramos 1, 2 y 11 debido a la falta de zonas de estacionamiento. En la tabla 17 figuran los resultados obtenidos hasta la profundidad de flotación de los vehículos.

Tabla 17. Daño lineal por metro de acera en vehículos estacionados hasta la profundidad de flotación de los vehículos.

Profundidad [cm]	Daños Potenciales [€]	Daño Lineal Promedio [€/m]	Daño Tramo del Ensanche _[1] [€]	Daño Tramo del Ensanche _[2] [€]
10	37.923,86 €	12,76 €	1.063,14 €	2.126,28 €
20	72.623,25 €	24,18 €	2.014,37 €	4.028,73 €
30	108.934,88 €	36,27 €	3.021,55 €	6.043,10 €
40	136.628,77 €	45,53 €	3.792,90 €	7.585,80 €
50	187.134,31 €	62,29 €	5.188,52 €	10.377,03 €

[1] Tramo del Ensanche con 1 acera con zonas de estacionamiento

[2] Tramo del Ensanche con 2 aceras con zonas de estacionamiento

Al igual que en la Avenida del Paralelo la mayor parte de las calles de Barcelona tienen sus zonas de estacionamiento completamente ocupadas a cualquier hora. Entonces, estos resultados podrían extrapolarse a calles de Barcelona simplemente teniendo información de la longitud de acera estacionable y las respectivas profundidades de aguas para cada tramo a estudiar.

Un tramo estándar del Ensanche tiene una longitud de 113,3 m de acera a cada lado de la calzada de los cuales 83,3 m son acera de estacionamiento en línea. Para profundidades similares a las que se dieron en algunos tramos de la Avenida del Paralelo de unos 30 y 40 cm, se estimarían unos costes en daños a vehículos estacionados de entre 3 mil y 3,8 mil euros o 6 mil y 7,5 mil según si se puede aparcar en una o ambas aceras. En un sumatorio de daños de diversas calles inundadas de Barcelona llegaríamos a unos costes económicos significativos, pudiendo aportarse estos daños a un mapa de riesgo que no solo tuviera en consideración el daño a las estructuras expuestas.

En cuanto a los resultados de vehículos circulando, debido a la singularidad de la Avenida del Paralelo en cuanto a la geometría de la sección y las grandes variaciones de intensidad a lo largo de la vía, difícilmente podremos trasladar estos resultados a otras calles de Barcelona.

6 . CONCLUSIONES

Tras estudiar los componentes que conforman los mapas de riesgo y entender su estructura, podemos decir que se reducen a 2 conceptos principales. El primero es la probabilidad de que suceda un evento de unas características determinadas y el segundo son las consecuencias que pueda originar este evento sobre los elementos expuesto a él. Estos dos conceptos conforman el riesgo y están divididos en peligrosidad y vulnerabilidad.

En los mapas de riesgo por inundación, la peligrosidad se simplifica en la probabilidad de que ocurran eventos de inundación y los diferentes calados como factor principal causante de los daños. La vulnerabilidad se reducirá a la estimación en unidades monetarias de los daños potenciales de los elementos expuestos al agua. Las curvas de daños serán el link que nos permitirá estimar los daños de los elementos en función del calado al que esté sometido.

En un país como España, donde las inundaciones son el riesgo natural más frecuente y que mayor consecuencias origina, hemos encontrado un gran vacío de investigación en cuanto a curvas de daño por inundación. Hoy en día, no existen curvas de daños propias que hayamos podido utilizar. En la estimación de daños en vehículos hemos tenido que emplear curvas obtenidas de dos organizaciones americanas: el U.S. Army Corps of Engineers y la Federal Emergency Management Agency (FEMA).

A continuación, tras comparar los dos grupos de curvas empleados hemos concluido que las curvas proporcionadas por la FEMA, desarrolladas en un sistema informático geográfico basado en el análisis de desastres natural y llamado HAZUS, se adaptaban mejor a nuestro caso en concreto e iban a proporcionarnos unos resultados más cercanos a la realidad.

A falta de modelos hidráulicos de eventos de inundación de nuestra vía a estudiar, propusimos una estimación de daños a profundidades uniformes en toda la vía.

Con los resultados obtenidos de la aplicación de estas curvas a la muestra de vehículos estacionados, podemos cuantificar para diferentes niveles de agua los daños asociados a esos sucesos de inundación. También concluimos que tras transformar estos daños absolutos a daños lineales por metro de acera podríamos trasladar estos resultados a diferentes calles de Barcelona. Con la ayuda de modelos hidráulicos para diferentes calles y nuestras estimaciones podríamos hacer un mapa de riesgo de los vehículos estacionados, situación que se daría en una inundación por la noche, puesto que en esas horas prácticamente no hay vehículos circulando.

Hay que tener en cuenta que nuestra estimación no incluye los daños producidos por objetos arrastrados por el agua o el arrastre del vehículo en sí, que si a profundidades muy pequeñas esto daños son despreciables a medida que aumenta la profundidad dejan de serlo y comprometen la precisión de nuestros resultados, haciendo que cada vez el daño estimado este más infravalorado.

En el caso de los vehículos en circulación, podemos asumir que para sucesos de lluvia con niveles de agua como los considerados, la velocidad de circulación del vehículo será reducida y los daños asociados serían similares a los de vehículos estacionados, por lo que la aplicación de la metodología a esos vehículos dará también resultados representativos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ribera (2004) Los mapas de riesgo de inundaciones. Disponible en:
<http://www.raco.cat/index.php/DocumentsAnalisi/article/download/31812/31647>
- EEA (2006) European Environment Agency. Catastrophic floods cause human tragedy, endanger lives and bring heavy economic losses. 2006. Disponible en:
<http://www.eea.europa.eu/themes/water/water-resources/floods>
- Sistema nacional de cartografía de zonas inundables en la demarcación hidrográfica del Ebro (2013) Memoria resumen de los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación. Disponible en:
www.chebro.es/contenido.streamFichero.do?idBinario=15893
- CAPV (2013) Comunidad Autónoma del País Vasco. Evaluación y Gestión de la Inundabilidad en la CAPV. Disponible en:
<http://www.uragentzia.euskadi.eus/mapas-de-peligrosidad-y-riesgo/demarcacion-cantabrico-oriental/u81-0003421/es/>
- Mitigation of Georisks in Central America (2010). Guidebook for Assessing Risk Exposure to Natural Hazards in Central America - El Salvador, Guatemala, Honduras, and Nicaragua. Disponible en:
http://www.preventionweb.net/files/27023_guidebookenwatermarkedred.pdf
- COPUT (2002) Conselleria D'Obres Públiques Urbanisme i Transports Generalitat Valenciana. Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención de Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Disponible en:
http://www.cma.gva.es/areas/urbanismo_ordenacion/infadm/publicaciones/pdf_patricova/indice.htm
- Nakamura et al (2001) Assessment of vulnerability to flood impacts and damages. Disaster Management Programme, UNCHS (Habitat). Disponible en:
<http://cidbimena.desastres.hn/pdf/eng/doc14385/Doc.%2014385.pdf>
- CRUE (2008) European Flood Risk Management Research. Efficiency of non-structural flood mitigation measures: "room for the river" and "retaining water in the landscape". Disponible en:
http://www.crue-eranet.net/Calls/Room_for_the_River_final_report.pdf
- CORFU (2013) Collaborative research on flood resilience in urban areas. Flood damage assessment and estimation of flood resilience indexes. Disponible en:

[http://www.cetaqua.com/uploads/pdf/03_Marc_Velasco_\(CETaqua\)_Flood_damage_assessment_and_estimation_of_flood_resilience_indexes.pdf](http://www.cetaqua.com/uploads/pdf/03_Marc_Velasco_(CETaqua)_Flood_damage_assessment_and_estimation_of_flood_resilience_indexes.pdf)

U.S. Army Corps of Engineers (2009) Economic Guidance Memorandum, 09-04, Generic Depth-Damage Relationships for Residential Vehicles. Disponible en:
<http://planning.usace.army.mil/toolbox/library/EGMs/egm09-04.pdf>

FEMA (2006) Federal Emergency Management Agency. HAZUS-MH Flood Loss Estimation Methodology. Disponible en:
https://www.cs.rice.edu/~devika/evac/papers/Hazus_floodII.pdf

Smart Driving (2012) Driving through floods. Disponible en:
http://www.smartdriving.co.uk/Driving/Driving_emergencies/Floods.htm

Stephenson (2002) Integrated flood plain management strategy for the Vaal. Urban Water. Disponible en:
<http://docslide.us/documents/integrated-flood-plain-management-strategy-for-the-vaal.html>

topographic-map (2016) Disponible en:
<http://es-es.topographic-map.com/places/Barcelona-234154/>

La Vanguardia (2009) Las primeras lluvias de otoño causan el caos en Barcelona. Disponible en:
<http://www.lavanguardia.com/sucesos/20091023/53810269550/las-primeras-lluvias-de-otono-causan-el-caos-en-barcelona.html>

El País (2011) Cataluña se recupera de la tromba de agua. Disponible en:
http://elpais.com/elpais/2011/07/30/actualidad/1312013818_850215.html

el Periódico (2011) Una tormenta bate el récord de intensidad de lluvia en BCN. Disponible en:
<http://www.elperiodico.com/es/noticias/barcelona/una-tormenta-bate-record-intensidad-lluvia-bcn-1099913>

Audatex (2015) Presente y Futuro del Sector de la Postventa. 2015. Disponible en:
https://www.cesvimap.com/centro-seguridad-vial/es/images/Presente_y_Futuro_del_Sector_Postventa_2015_Cesvimap_tcm804-152781.pdf